

Mikrofoontegniese toegepas in Populêre Musiekopnames

deur

Gerhard Wachtendonck Roux
13737724

Tesis ingelewer ter gedeeltelike voldoening aan die
vereistes vir die graad *Magister Philosophiae* in
Musiektegnologie aan die Universiteit van Stellenbosch



Departement Musiek
Universiteit van Stellenbosch
Privaatsak X1, Matieland, 7602, Suid-Afrika

Studieleiers:

Mnr. T. Herbst Prof. J. Vermeulen

Desember 2010

Verklaring

Deur hierdie tesis elektronies in te lewer, verklaar ek dat die geheel van die werk hierin vervat, my eie, oorspronklike werk is, dat ek die outeursregeienaar daarvan is (behalwe tot die mate uitdruklik anders aangedui) en dat ek dit nie vantevore, in die geheel of gedeeltelik, ter verkryging van enige kwalifikasie aangebied het nie.



Handtekening:
G.W. Roux

Datum: 2010/11/01

Kopiereg © 2010 Universiteit van Stellenbosch
Alle regte voorbehou.

**Mikrofoontegnieke toegepas
in Populêre Musiekopnames**

G.W. Roux

Departement Musiek

Universiteit van Stellenbosch

Privaatsak X1, Matieland, 7602, Suid-Afrika

Tesis: MPhil Musiektegnologie

Desember 2010

Hierdie tesis ondersoek die rol van natuurlike of realistiese klankopnames in populêre musiek in die lig daarvan dat die aard van populêre opnames verskil van reproduksie wat poog om die opnameruimte akoesties te herskep. Tradisionele mikrofoontegnieke word bestudeer vanuit die hoek van die identifiseerbare eienskappe van populêre musiek om te bepaal watter rol mikrofoontegniek kan speel om 'n verlangde uitkoms te bewerkstellig.

Abstract

Microphone Techniques applied in Popular Music Recordings

G.W. Roux

Department of Music

University of Stellenbosch

Private Bag X1, 7602 Matieland, South Africa

Thesis: MPhil Music Technology

December 2010

This thesis investigates the role of natural or realistic audio recordings in popular music in the context of the different nature of popular music where the goal is not necessarily the recreation of the original acoustic space. Traditional microphone techniques are investigated from the perspective of the identifiable characteristics of popular music to establish the role of microphone techniques to obtain a desired outcome.

Erkennings

Ek wil graag die volgende persone en instansies hartlik bedank vir die bydraes wat tot hierdie projek gemaak is:

- Theo Herbst vir al die geleenthede wat hy vir my geskep het
- Tim Lengfeld vir die saam dink en gesels
- Pieter du Milander wat alles begin het
- Die vrywilligers van <http://www.pat2pdf.org/>
- John W. Eaton en die ontwikkelaars van GNU Octave
- Janusz M. Nowacki (1998), vir die *Antykwa Toruńska* lettertipe
- Simangele Mashazi vir die stem monsters
- Ronald Siegelaar vir die trom monsters
- Atlas van Zyl en Justin Versfeld vir hulp met die eksperimente
- Paul Roux vir die voorsiening van 'n kamera
- Die <http://www.rieme.co.za/wb> woordeboek

Geen papier is vermors in die skryf van hierdie tesis nie, fotostate is uitgeskakel deur skandering. Die outeur hoop dat hierdie werk slegs digitaal sal bestaan.

Opgedra aan

*My wonderlike vrou Lizette
vir al die liefde, ondersteuning,
aansporing, skoon klere, kos en die
af-en-toe strategies geplaaste dreigement.*

Inhoudsopgawe

Verklaring	ii
Uittreksel	iii
Abstract	iv
Inhoudsopgawe	vii
Lys van figure	xii
Lys van tabelle	xv
Inleiding	1
1 Estetiese Verwagtinge van Populêre Klankopnames	3
1.1 Definisie van Populêre Musiek	3
1.2 Aard en Struktuur van Populêre Musiek	5
1.3 Genre-klassifikasie en Populêre Musiek	6
1.4 Geskiedenis van Populêre Opnames	7
1.5 Luisteraars se Voorkeure	10
1.6 Luisteraars se Oordeel van Klankkwaliteit	12
2 Klank, Klankbronne en Klankwaarneming	14
2.1 Eienskappe van Klank	14
2.1.1 Frekwensie	14
2.1.2 Amplitude	15
2.1.3 Fase	16
2.1.4 Polariteit	17
2.1.5 Timbre en Tekstuur	17
2.2 Klankvoortplanting	18
2.2.1 Klankstraling	19
2.2.2 Inverse-vierkantswet	19
2.2.3 Absorpsie	20
2.2.4 Refleksie	20
2.2.5 Nagalm	21

2.3	Psigo-akoestieke Beginsels	24
2.3.1	Model van die Oor	25
2.3.2	Lokalisering	26
2.4	Afstandswaarneming	27
2.5	Persepsie van Diepte	28
2.6	Ruimtelikheid	28
3	Instrumentasie in Populêre Musiek	30
3.1	Akoestiese Kitaar	30
3.2	Klavier	32
3.3	Elektriese Instrumente	32
3.3.1	Elektriese Klawerinstrumente	33
3.3.2	Elektriese Kitare	33
3.3.3	Instrument Versterkers	34
3.4	Stem	35
3.5	Tromme en Simbale	36
4	Mikrofone	38
4.1	Mikrofone as Transduktore	38
4.1.1	Definisie van 'n Transduktor	38
4.1.2	Basiese Vereistes van Mikrofone	39
4.1.3	Oorsig oor die Komponente van 'n Mikrofoon	39
4.2	Meganiese en Vloeistof Mikrofone	40
4.3	Koolstof Mikrofone	40
4.4	Kapasitor Mikrofone	41
4.4.1	Radiofrekwensie Modulasie Kapasitor Mikrofone	43
4.4.2	Digitale Mikrofone	44
4.4.3	Dubbel-element Kapasitor Mikrofone	45
4.5	Elektret Kapasitor Mikrofone	46
4.6	Bewegende Spoel Mikrofone	47
4.7	Lintmikrofone	48
4.8	Mikrofoongerigtheid	50
4.8.1	Druk transduktore	50
4.8.2	Drukgradiënt Transduktore	51
4.8.3	Gerigtheid & Poolpatrone	54
4.9	Mikrofoon Spesifikasies	57
4.9.1	Frekwensie-oordrag en Bandwydte	57
4.9.2	Sensitiwiteit	57
4.9.3	Oorgangsverskynsel	58
4.9.4	Vervorming	59
4.9.5	Totale Harmoniese Vervorming	59
4.9.6	Intermodulasie Vervorming	60
4.9.7	Eieruis	60
4.10	Elektroniese komponente	62

4.10.1	Verswakkers	62
4.10.2	Hoogdeurlaat-filter	62
4.10.3	Kopversterkers	64
4.10.4	Transformatore	66
4.11	Elektriese Aspekte van Mikrofone	66
4.11.1	Verbindings en Kables	66
4.11.2	Skimkrag	71
4.11.3	Impedansie	72
4.12	Meganiese Aspekte van Mikrofone	72
4.12.1	Kapsule Afmetings	72
4.12.2	Mikrofoon Dop	73
5	Die Uitdagings van die Opname-tegnikus	77
5.1	Die Rol van 'n Opname-tegnikus	77
5.2	Die Kenmerke van 'n Oortuigende Opname	78
5.3	Filosofieë van Balans-tegnici	79
5.4	Objektiewe Metinge en Subjektiewe Terminologie	80
5.4.1	Subjektiewe Terme vir die Beskrywing van Klank	80
5.4.2	Verband tussen Subjektiewe Terme en Metinge	81
5.5	Natuurgetrouheid en Populêre Opnames	83
6	Monofoniese Tegnieke	86
6.1	Invloed van die Mikrofoon	87
6.1.1	Poolpatroon se Invloed	87
6.1.2	Invloed van Kapsule Afmetinge	88
6.1.3	Diffraksie	88
6.2	Verskille in Toonkleur Relatief tot die Bron	88
6.3	Die Invloed van Afstand	91
6.3.1	Nabyheids-effek	93
6.3.2	Ruimtelikheid	95
6.3.3	Sein-tot-ruis Verhouding	95
6.4	Invloed van Polariteit en Fase	96
6.4.1	Invloed van Reflektiewe Oppervlakke	96
6.5	Kombinasie van Veelvuldige Transduktore	99
6.5.1	Meervoudige Transduktore op 'n Enkele Bron	100
6.5.2	Kombinasie van Sensors en Mikrofone	100
7	Stereofoniese en Meerkanaal Tegnieke	104
7.1	Geskiedenis van Stereofoniese en Meerkanaal Klank	104
7.2	Aard van Stereofonie	105
7.2.1	Stereofoniese Persepsie	106
7.2.2	Skimbeeld	106
7.2.3	Monofoniese Versoenbaarheid	107
7.3	Stereofoniese Tegnieke	107

7.3.1	Koïnsidente Stereofoniese Tegnieke	107
7.3.2	Naby-koïnsidente Stereofoniese Tegnieke	110
7.3.3	Gespasieerde Stereofoniese Tegnieke	112
7.3.4	<i>Binaural</i>	113
7.4	Mikrofoon-reekse en Meerkanaal Tegnieke	114
7.4.1	<i>Fukada-boom</i>	115
7.4.2	<i>INA</i>	115
7.4.3	<i>OCT</i>	115
7.4.4	<i>Ambisonics</i>	115
7.5	Hoof- en Kolmikrofone	116
7.6	Opname-hoek	117
7.6.1	Die Verhouding tussen Opnamehoek en Fase	118
8	Praktiese Toepassing	120
8.1	Oorhoofse Mikrofone	120
8.1.1	Verlangde Stereofoniese Veld en Bronwydte	120
8.1.2	Panorama	121
8.1.3	Plasing van Oorhoofse Mikrofone	123
8.1.4	Mikrofoon Tipes	124
8.2	Kolmikrofone	126
8.2.1	Bastrom	128
8.2.2	Snaartrom	131
8.2.3	<i>Tom-toms</i>	133
8.2.4	<i>Hi-hats</i>	135
8.2.5	Tydvertraging van Kolmikrofone	135
8.3	Afleidings	138
9	Gevolgtrekking	140
	Bylaes	143
A	Seinpad van Toetsopnames	144
A.1	Mikrofone	144
A.2	Voorversterker	145
A.3	Versyferaar	145
B	Analises	147
B.1	Sagteware	147
B.1.1	<i>Python</i> Golfleser Kode	148
B.1.2	<i>GNU Octave</i> Kode	150
B.1.3	Kragpektra	151
C	Eksperimente	153
C.1	Poolpatroon en Gerigtheid	153
C.1.1	Metodologie	153

C.1.2	Resultate en Gevolgtrekking	154
C.2	Shure SM57 Transformator Vergelyking	154
C.2.1	Agtergrond	154
C.2.2	Metodologie	156
C.2.3	Resultate en Gevolgtrekkings	157
C.3	Verwydering van OKTAVA M 319 Dop	157
C.3.1	Agtergrond	157
C.3.2	Metodologie	158
C.3.3	Resultate en Gevolgtrekking	158
C.4	Skokgolwe Veroorsaak deur Lug-turbulensie	159
C.4.1	Metodologie	159
C.4.2	Gevolgtrekking	159
C.5	Lukrake Histogramme	160
C.5.1	Doelstelling	160
C.5.2	Metodologie	160
C.5.3	Resultate en Gevolgtrekkings	161
C.6	Luidsprekerkeël Frekwensie Vergelyking	162
C.6.1	Doelstelling	162
C.6.2	Metodologie	162
C.6.3	Gevolgtrekking	163
C.7	Toonkleur Relatief tot Sanger se Neus	163
C.7.1	Doelstelling	163
C.7.2	Metodologie	163
C.7.3	Resultate en Gevolgtrekking	164
C.8	Verhouding tussen Fase en Hoek van Mikrofoon	164
C.8.1	Metodologie	164
C.8.2	Resultate en Gevolgtrekking	165
C.9	Vergelyking van dinamiek	165
C.9.1	Metodologie	165
C.9.2	Gevolgtrekking	166
D	Modulerings	167
D.1	Die Skep van 'n Niervormige Poolpatroon	167
D.1.1	Kode	167
D.1.2	DIRPLOT funksie	167
D.2	<i>Python</i> Filter Generator	174
	Lys van Verwysings	176

Lys van figure

1.1	Barbedo & Lopes se genre indeling	8
2.1	EMT 140 plaatnagalm-eenheid	24
3.1	Die <i>Fender Telecaster</i>	34
4.1	Kapasitor mikrofoon ekwivalente stroombaanvoorstelling . . .	43
4.2	SENNHEISER MKH 8040	44
4.3	ROYER R121 Lint Mikrofoon	49
4.4	Drukmikrofone en polariteit	52
4.5	Drukgradiënt mikrofone en polariteit	53
4.6	Die kombinasie van poolpatrone	55
4.7	Die afleiding van 'n niervormige poolpatroon	55
4.8	Enkel element transduktor met 'n niervormige poolpatroon .	56
4.9	Die mees algemene poolpatrone	56
	(a) Alomgerig	56
	(b) Agt-figuur	56
	(c) Niervormig	56
4.10	RC Hoogdeurlaatfilter	63
4.11	Frekwensie- en fase weergawe van 'n hoogdeurlaat-filter . . .	63
4.12	'n Versameling Vakuumbuise	65
4.13	Nul-toets uitslag van 'n SHURE SM57 transformator	67
4.14	Oorgangsverskynsel van 'n SHURE SM57 transformator	68
4.15	Gebalanseerde mikrofoonkabel	69
4.16	Skimkragvoorsiening	71
4.17	Invloed van die dop op ruisvlakke	74
4.18	Opstelling van skokgolf eksperiment	75
4.19	Die generering van frekwensies nie teenwoordig in bron . . .	76
5.1	Die elemente wat 'n opname beïnvloed	78
5.2	Objektiewe eienskappe en subjektiewe beskrywings	82
5.3	Subjektiewe frekwensie beskrywing	83
6.1	Verskil in toonkleur relatief tot sanger se neus	89
6.2	Frekwensieverskille tussen mikrofone bo en onder die neus .	90

6.3	Oorsig van luidsprekerkeël eksperiment	91
6.4	Verskil in toonkleur tussen kern en rand van luidsprekerkeël	92
6.5	'n Ondersoek van die nabyheids-effek	93
6.6	Resultate van nabyheids-effek eksperiment	94
6.7	Die verhouding tussen sein-tot-ruis en afstand	96
6.8	Ruisvlakke gemeet op verskillende afstande	97
6.9	Vertraagde sein as gevolg van refleksie	98
6.10	Kamfilter-effek as gevolg van vloer refleksie	98
6.11	'n Voorstelling van die 3:1 verhouding	100
6.12	Kombinasie van sensor en mikrofoon	101
6.13	Kombinasie van sensor en klankversterker	101
6.14	Verskil in polariteit tussen sensor en mikrofoon	102
6.15	Verskil in polariteit tussen sensor en versterker	103
7.1	MS-enkodering	109
7.2	MS-opstelling	110
7.3	DECCA-boom opstelling	114
7.4	Verhouding tussen fase en hoek van mikrofoon	118
7.5	Verhouding tussen fase en hoek van mikrofoon	119
8.1	Die BEATLES op die <i>Ed Sullivan Show</i>	122
8.2	Die bronwydte van die tromstel	122
8.3	Panorama van kolmikrofone op tromstel	123
8.4	Drie-dimensionele <i>SketchUp</i> model van Tromstel	125
8.5	Panorama-as op tromstel	125
8.6	Verskil in toonkleur tussen middel en kant van tromvel	126
8.7	Verskil in toonkleur tussen die middel en kant van 'n tromvel	127
8.8	Hoek relatief tot toonkleur	128
8.9	Hoek van C414 EB en toonkleur	129
8.10	Hoek van MKH 8040 en toonkleur	130
8.11	'n Luidspreker as bastrom mikrofoon	131
8.12	Die verskil in fase tussen twee mikrofone op 'n bastrom	132
8.13	Fase-kansellasië tussen twee mikrofone op 'n snaartrom	133
8.14	Polariteit van mikrofone bo en onder snaartrom	134
8.15	Polistireen koppie as mikrofoon isolator	135
8.16	<i>Beat It</i> van Michael Jackson	136
8.17	'n Spreitabel om die vertraging van mikrofone te bereken	136
8.18	Fase-verskille tussen die mikrofone op 'n tromstel	137
8.19	Onderlinge tydsverhouding tussen kolmikrofone	138
A.1	SENNHEISER MKH 8040 frekwensie-oordrag	144
B.1	Uittree van golfleser kode	148
C.1	Polariteit-verhouding op 0° en 180° as	153

C.2	Opstelling van eksperiment	154
C.3	Polariteit-verhouding op 'n drukgradiënt mikrofoon	155
C.4	Vereenvoudigde SM57 skematiek	155
C.5	Opstelling van die transformator eksperiment	156
C.6	Koppelling van die SM57 transformator	157
C.7	OKTAVA M 319	158
C.8	OKTAVA M 319 sonder dop	158
C.9	Invloed van die dop op ruisvlakke	159
C.10	Die generering van frekwensies nie teenwoordig in bron . . .	160
C.11	<i>Pop goes the Weasel</i> soos verwerk deur Twiggs (1853)	160
C.12	Frekwensieverskille op luidsprekerkeël	162
C.13	Die sanger met twee mikrofone ewe vêr van die mond	163
C.14	<i>...Baby one more time</i>	164
C.15	Britney Spears	164
C.16	Opstelling van die fase en hoek eksperiment	165
C.17	Spookrol op snaartrom	166
C.18	Yesterday - Lennon/McCartney	166

Lys van tabelle

1.1	Tagg se aksiomatiese driehoek	5
1.2	Vergelyking tussen Pop en Rock-musiek	7
4.1	Die kombinasie van druk- en drukgradiënt transduktore. . . .	54
4.2	Vergelyking van algemene poolpatrone	56
4.3	Vergelyking van mikrofoon sensitiwiteit	58
4.4	Historiese oorsig van mikrofoon ruisvlakke	61
4.5	Plosiewe gemeet met verskillende mandjies	75
6.1	Mono- en stereo bronne in populêre opnames	86
6.2	Vergelyking van groot- en klein diafragma mikrofone	88
7.1	Verskillende opnamehoeke van verskeie opstellings	117
7.2	Verskillende in lokalisering teen verskillende frekwensies . .	117
7.3	Verskillende opnamehoeke van verskeie navorsers	118
8.1	Opstelling van tromstel opname	136
8.2	Verhouding in tyd (<i>ms</i>) tussen mikrofone op tromstel	139
C.1	Lukrake <i>Billboard</i> treffers 1958 - 2008	161

Inleiding

ARNOLD Schönberg het in 1946 in 'n brief aan die Kanselier van die Universiteit van Chicago voorgestel dat die musiekdepartement klasse moet aanbied vir 'klankmanne'. Hierdie opname-tegnici sou onderrig word in die velde van musiek, akoestiek, fisika en meganika met die einddoel om 'n voorafbeeld van perfek uitgevoerde musiek in die geheue te kan voorstel deur slegs na die partituur te kyk (Borwick, 1973:3).¹ Die einddoel, volgens Kim *et al.* (2006:2), is om in opnames die natuurlike akoestiese eienskappe van die oorspronklike klankbronne te herskep.²

Populêre musiek het egter in die meeste gevalle nooit in 'n natuurlike ruimte bestaan nie en dus verander die uitdaging volgens Moorefield (2006:xiii) vanaf tegniese tot artistiek, waar die doel nie meer 'n 'illusie van realiteit' is nie, maar 'n 'realiteit van illusie'.

Jecklin (1981:329) kom tot die gevolgtrekking dat klassieke opnames gebaseer word op die aannames dat die klankbron gebalanseerd is, dat dit in 'n voldoende akoestiese ruimte uitgevoer word, en dat die klankbron en die akoestiese ruimte bymekaar hoort. In populêre musiek, aan die ander hand, is die musikale balans volgens Thebérge (2001:6) die 'verantwoordelikheid' van die opname-technikus. Jecklin gebruik die terme 'natuurlike musiek' vir klassieke opnames en 'mikrofoonmusiek' vir populêre opnames. Eargle (1986:490) het populêre opnames beskryf as 'n 'unieke kreatiewe proses met sy eie estetiese verwagtings en tegniese vereistes'.

Alhoewel daar groot verskille is tussen die klassieke- en populêre musiek klankbronne, is daar tog ooreenkomste in die verlangde eindproduk. Katz (2002:100) voer aan dat die tonaliteit van 'n simfonie orkes gebruik kan word as 'n verwysing van 'n goeie tonale balans vir baie genres van populêre musiek. Die basis van die verlange stereo beeld van 'n populêre

¹Borwick (1973:2) beskou hierdie as die katalisator verantwoordelik vir die stigting van die eerste gespesialiseerde opleidingsentra vir opname-tegnici. In 1946, het die eerste *Tonmeister* kursus aanvang geneem by die *Hochschule für Musik* in Detmold, Duitsland (Thienhaus, 1960:68). Hierdie instituut is later gevolg deur ander in Warskou, Berlyn, Stockholm en Düsseldorf (Moverman, 1974:103).

²Alhoewel dit deur Kim *et al.* (2006:2) geïmpliseer word maak Strashun (1986:2) spesiale melding van die vermoë om enige tegniese tekortkominge van 'n opname vinnig te identifiseer en reg te stel.

opname word volgens Moulton (1986:164) ook gewoonlik gebasseer op 'n tradisionele toepassing van stereofoniese mikrofoontegnieke, soos in die geval van die opname van die tromstel in populêre musiek wat ooreenstem met die tegnieke wat gebruik word in 'natuurlike musiek', waar die natuurlike balans en interaksie met die akoestiese ruimte tot 'n groot mate behoue bly.

Hierdie tesis ondersoek die verband tussen natuurlike en populêre opnames en tot watter mate die gevestigde mikrofoontegnieke aangewend kan word in populêre opnames.

Estetiese Verwagtinge van Populêre Klankopnames

Die koms van opname-tegnologie word deur Møller (1979a:386) beskou as 'n kompromis tussen perfekte klank soos dit in die natuur voorkom, teenoor die groter universele beskikbaarheid van tegnies-beperkte opnames. Die ideaal van opnames volgens Shorter (1959:13) is realisme, d.w.s. dat die klank by die luisteraar se oor identies is aan die klank van die oorspronklike bron.¹ Volgens Rumsey (2001:9) is realisme wel 'n ideaal in sekere opnames, maar daar bestaan genres van musiek wat nooit in 'n natuurlike ruimte bestaan het nie. Moorer (2000:490) beweer dat daar verby 'natuurlike' opnames beweeg is, en beskryf hedendaagse album produksies as 'super-natuurlik'. Die stelling word gegrond op die feit dat selfs klassieke albums onderwerp word aan so 'n intense redigeringsproses dat die perfeksie van die finale produk nie meer natuurlik kan bestaan nie.

1.1 Definisie van Populêre Musiek

"Pop music seems to be the only area where there is to be found unabashed vitality, the fun of invention, the feeling of fresh air." - Leonard Bernstein (Cott, 2007:277)

¹Volgens Snyder (1953:176) is 'faksimiliëe' klankreproduksie reeds in 1933 bereik in toetse gedoen deur Fletcher van Bell Labrotoriums, maar dat dit onmoontlik was om dit op 'n kommersiële skaal te herhaal op daardie tyd. Volgens Berlant (1985:342) het die koms van die digitale era hierdie ideaal nog meer haalbaar gemaak, maar dat ware realisme nie bereik kan word met gerigte luidsprekers nie, as gevolg van beperkings ten opsigte van die verhouding tussen direkte klank en eggos wat natuurlik voorkom in die bronmateriaal.

Gracyk (2007:8) sien populêre musiek as iets wat in die filosofie as 'n 'oop konsep' bekend sou staan, waar niemand 'n presiese kriterium aan die gebruik van die frase heg nie, en waar die bestek van die konsep bly groei en krimp. Die woord 'populêr' is gebruik vanaf die middel negentiende eeu om ligter vorms van musiek te beskryf, 'Pop' het gebruiklik geword as 'n oorkoepelende term om musiek te beskryf wat gemik is op die sogenaamde 'tienermark' (Gammond, 1991:457). Middleton *et al.* (2009) verskaf die volgende definisie van popmusiek:

"A term used widely in everyday discourse, generally to refer to types of music that are considered to be of lower value and complexity than art music, and to be readily accessible to large numbers of musically uneducated listeners rather than to an élite. Closely connected with the development of new media and music technologies, and with the growth of large-scale recording and broadcasting industries, mostly based in the West."

In die musiekwetenskap kan studies van populêre musiek volgens Brackett (2000:17) in twee hoofstrome verdeel word: Eerstens is daar dié wat fokus op die sosiale en historiese konteks, en tweedens dié wat fokus op die inhoud van die musiek self. Middleton (1990:3) beskou dit as uiters moeilik om populêre musiek te definieer as gevolg van hierdie verskeie betekenisse wat daaraan geheg word. Pogings om populêre musiek te definieer binne 'n musiekwetenskaplike konteks is aangewend deur Middleton (2000), Everett (2000), Hamm (1995) en Moore (1990). Shuker (1998:228) voel dat 'n bevredigende definisie van populêre musiek beide musikale en sosio-ekonomiese eienskappe insluit. Middleton (1993:177) het die gebreke in die studie van populêre musiek in 'n musiekwetenskaplike konteks as volg opgesom:

"Since their beginnings, popular music studies have conducted an implicit (sometimes explicit) dialogue with musicology. To be sure, the musicological side of this conversation has more often than not been marked by insult, incomprehension or silence; and popular music scholars for their part have tended to concentrate on musicology's deficiencies."

Firth (2001:94) beskryf popmusiek as 'n "slippery concept". Dit verskil van klassieke- of kunsmusiek aan die een kant en volksmusiek aan die ander kant, maar kan nogtans elke denkbare styl insluit. Tagg (2000:76) beklemtoon dat dit feitlik onmoontlik is om populêre musiek te definieer, maar sy aksiomatiese driehoek (tabel 1.1) wat volks-, kuns-, en populêre musiek vergelyk werp lig op die unieke eienskappe van populêre musiek.

Eienskap		Volksmusiek	Kunsmusiek	Populêre musiek
Vervaardig en oorge- dra deur	Hoofsaaklik proffesionele Hoofsaaklik amateurs	•	•	•
Massa verspreiding	Gewoon Ongewoon	•	•	•
Metode van storing en oordrag	Mondelings Notasie Opnames	•	•	•
Tipe samelewing waarin die kategorie van musiek die meeste voorkom	Nomadies of landbou Landbou en industriëel Industriëel	•	•	•
Bronne van finansiering vir produksie en ver- spreiding	Onafhanklik Publieke Befondsing Vryemark	•	•	•
Teorie en estetika	Ongewoon Algemeen	•	•	•
Komponis / Outeur	Anoniem Bekend	•	•	•

Tabel 1.1: Tagg (2000:76) se aksiomatiese driehoek.

Populêre musiek poog volgens Denisoff (1975:32) om binne 'n wye gehoor se smaak te val oor die grense van ouderdom, geslag, geografie en ras. Die verbruikers se voorkeure is feitlik onmoontlik om te voorspel as gevolg van die wisselende aard van die gehoor. Cameron & Collins (1997:172) sien populêre musiek as 'n daadwerklike poging om musiek te vervaardig vir massa-produksie.² Hierdie vervaardigingsproses is volgens Lewis (1988:36) 'n uitgebreide sosiale en organisatoriese proses waarbinne baie verskillende vaardighede en persone betrokke is. Peterson & Berger (1975:158) het beweer dat platemaatskappye se beheer van die mark gelei het tot 'homogene en gestandaardiseerde' musiek. Lopes (1992:56) het egter bevind dat innovering en diversiteit in populêre musiek juis deur platemaatskappye gebruik word as 'n strategie om die mark te behou.

1.2 Aard en Struktuur van Populêre Musiek

Tegnologie het volgens Connor (2001:469) veroorsaak dat die stem die fokuspunt van populêre musiek geword het, aangesien klankversterking 'n sanger in staat gestel het om duidelik gehoor te kan word bo die 'raamwerk' wat die musiek vir die stem geskep het. Die basis van populêre musiek in die meeste gevalle is die repeterende ritme verskaf deur die

²Die feit dat populêre musiek vervaardig en versprei word deur kommersiële kanale het veroorsaak dat dit in baie gevalle nie deur staatsinstansies gesien word as 'n kunsvorm wat ingesluit behoort te word in kulturele befondsing nie. (Rutten, 1993:38)

perkussie- en basinstrumente wat ten doel staan om 'n fisiese reaksie van die liggaam te ontlok (Clarke, 1983:196). Alan Lomax (1959:927) het die populêre lied beskryf as:

“a complex human action - music plus speech, relating performers a larger group in a special situation by means of certain behavior patterns, and giving rise to a common emotional experience.”

Populêre musiek bestaan hoofsaaklik uit liedjies met 'n lengte van ongeveer drie minute. Die lengte is die gevolg van die beperkte kapasiteit van die Edison silinder en eerste nasate daarvan (Moulton, 1986:161). Die koms van aanlyn digitale verspreiding het verder die bygedra dat die lied, in plaas van 'n album, die primêre eenheid van popmusiek is (Warner, 2003:6).

Die struktuur van popmusiek het volgens Clarke (1995:37) sy oorsprong in die Amerikaanse populêre liedere van die 1870's. Die bladmusiek het gewoonlik betaan uit 'n inleiding van agt mate waarna twee tot vier verse gevolg het, met 'n refrein wat afgelei is uit die vers wat klem geplaas het op 'n sekere element in die vers. 'n Tipiese popliedjie begin met 'n inleiding, gevolg deur 'n vers en 'n koor (Ridgeway, 2008:57). Die vers en koor word gewoonlik herhaal en gevolg deur 'n brug³, waarna die vers en koor weer aangaan tot die einde (Cooper & Foote, 2003:1).

Die komponis en uitvoerende kunstenaar van popmusiek is in baie gevalle dieselfde persoon, (Berenzweig *et al.*, 2002:1) en daar word dikwels ooreenkomste uitgewys tussen die liedere en die lewe van die komponis, wat dus aan die musiek 'n biografiese aard verleen (Brackett, 2000:15).

1.3 Genre-klassifikasie en Populêre Musiek

Musikale genres is volgens Tzanetakis & Cook (2002:293) etikette wat deur mense geskep is om die wye spektrum van musiek te kategoriseer. Dit berus op 'n interaksie tussen historiese-, kulturele-, en bemarkingsfaktore. 'n Realistiese genre taksonomie sal volgens McKay & Fujinaga (2004) honderde kategorieë insluit, waarvan vele sou oorvleuel. Die Britse uitsaaiwet sien popmusiek as alle tipes musiek 'wat gekenmerk word deur 'n sterk ritmiese element en staat maak op elektroniese klankversterking vir die uitvoering daarvan' (Firth, 1996:82).

In hierdie studie sal die definisie van populêre musiek vernou word tot die organiese POP/ROCK been van Barbedo & Lopes (2008:560) se genre

³John Lennon en Paul McCartney was veral bekend daarvoor op eiesoortige brug, of middel-agt, gedeeltes in hulle liedjies te skryf (Fitzgerald, 1996).

indeling (fig. 1.1).⁴ Alhoewel daar in hierdie studie nie onderkeid getref word tussen pop- en *rock*-musiek nie, is daar volgens die aanhangers van *rock*-musiek groot verskille tussen die twee genres. Die aanhangers van *rock*-musiek beweer dat *rock* 'n hoër status as popmusiek het aangesien *rock* meer poëties van aard is (Frith, 1988:117). Warner (2003:3) het opgemerk dat Britse navorsers 'n duidelike onderskeid tref tussen pop- en *rock*musiek, terwyl Amerikaanse navorsers minder klem daarop plaas. Hy som die verskille tussen pop en *rock* as volg op:

<i>Pop</i>	<i>Rock</i>
<i>Singles</i>	<i>Albums</i>
<i>Emphasis on recording</i>	<i>Emphasis on performance</i>
<i>Emphasis on technology</i>	<i>Emphasis on musicianship</i>
<i>Artificial</i>	<i>Real ('authentic')</i>
<i>Trivial</i>	<i>Serious</i>
<i>Ephemeral</i>	<i>Lasting</i>
<i>Successive</i>	<i>Progressive</i>

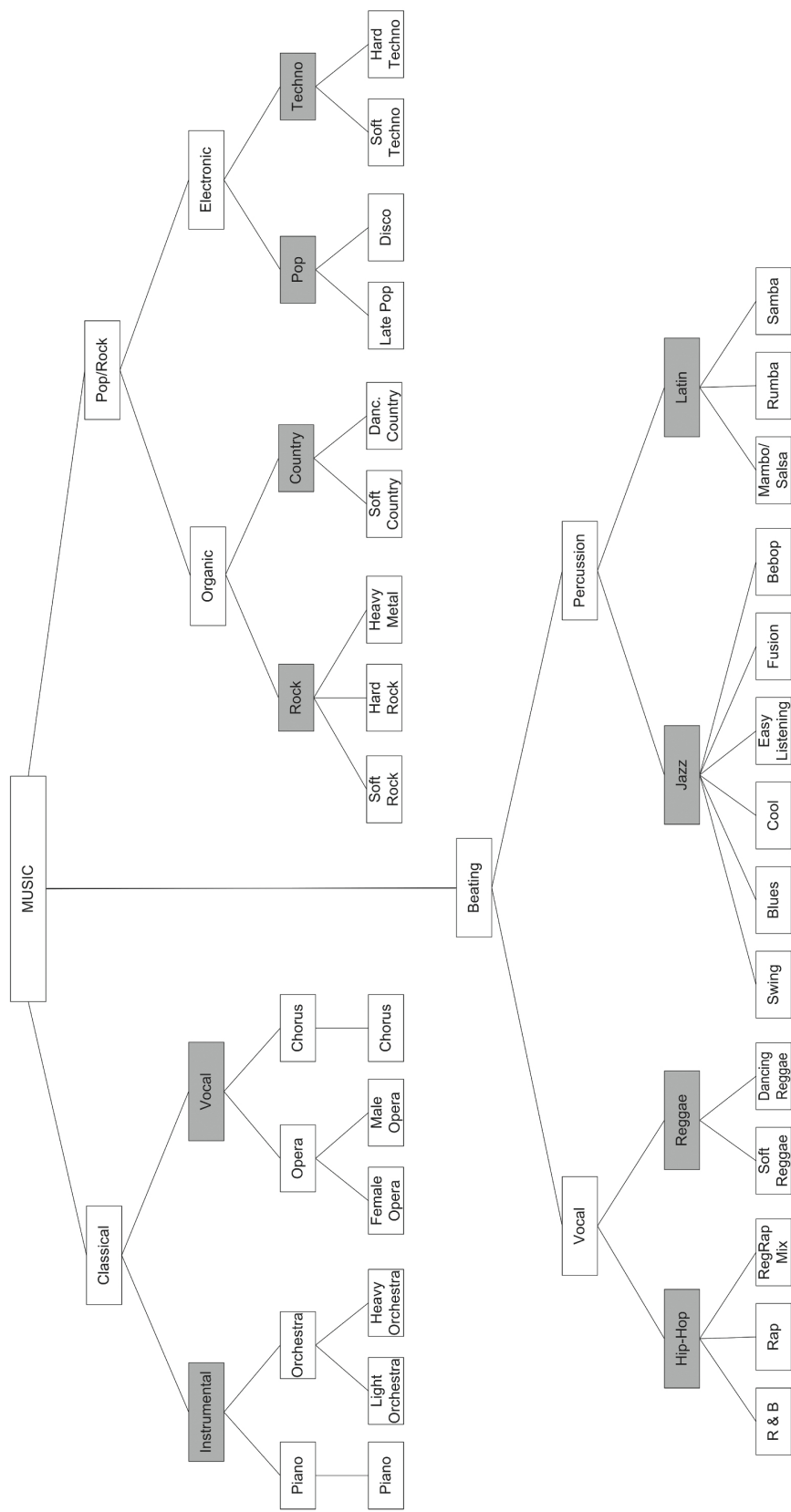
Tabel 1.2: Vergelyking tussen Pop en Rock-musiek (Warner, 2003:4)

Die instrumentasie waarop gefokus word in hierdie studie is dié wat deur Bacon (1981:5) as *rock* instrumentasie geïdentifiseer is: Dit sluit in akoestiese-, elektriese, en baskitare; tromme en perkussie; akoestiese en elektriese klawerinstrumente; en instrument versterkers. *Rock*-musiek is stem-georiënteerd en dit word in meeste gevalle begelei deur kitare (ses-snaar en 4-snaar bas) en tromme. Die tromme verskaf die ritme, die baskitaar die baslyn en die kitare speel ritmiese patrone, soms afgewissel deur melodiese solo melodiëe (Black *et al.*, 1983:21).

1.4 Geskiedenis van Populêre Opnames

Edison, die eerste persoon wat daarin geslaag het om klank op te neem, het sy toestel gesien as 'n diktafoon en was daarteen gekant dat dit vir vermaaklikheid gebruik sou word (Bodoh, 1977:836). Musikante het aanvanklik die fonograaf gesien as 'n foefie en iets om meet te eksperimenteer. Opnames is anoniem gemaak en eers later het musikante die waarde van opnames as 'n adisionele bron van inkomste begin sien (Torick, 1977:880). In 1928 het Igor Stravinsky (1962:150) 'n meerjarige platekontrak met die *Columbia Gramophone Company* gesluit wat hy gesien het as 'n

⁴Barbedo & Lopes (2008:560) se indeling spruit uit navorsing oor outomatiese genre klassifikasie, en word as ruggraat gebruik vir geoutomatiseerde indeling van opnames.



Figuur 1.1: Barbedo & Lopes (2008:560) se genre indeling

proses om sy musiek akkuraat te 'dokumenteer', wat gebruik kan word om aan te dui presies hoe die werk moet uitgevoer word, maar hy het dit nie as 'n plaasvervanger vir die musiek gesien nie. As gevolg van die beperkte frekwensie bandwydte, sowel as die onvermoë om sagte klanke soos viole op te neem, was populêre musiek met instrumentasie soos banjo's en koperblaasorkeste beter geskik vir opnames (Millard, 1995:81). Dit was feitlik onmoontlik om klassieke opnames te maak van ensembles met meer as 40 spelers en die laer strykers kon nie opgevang word nie (Symes, 2004:64). Nog 'n voorbeeld van waar die tegnologie die genre gevorm het is met die gemiddelde lengte van 'n populêre komposisie as gevolg van Edison se wassilinders wat drie minute opnametyd toegelaat het (Moulton, 1986:161).

In die periode na die Tweede Wêreldoorlog het die fonograaf verander van 'n luuksheid tot 'n sosiale noodsaaklikheid (Queen, 1966:2). Tegnologiese vooruitgang soos die 33 revolusies-per-minuut plaat wat in 1948 bekendgestel is het gelei tot 'n spreekwoordelike ontploffing in die opnamebedryf. Hierdie plate het oor beter klankkwaliteit beskik, was meer koste-effektief, en het langer speeltyd gehad as die voorgangers (Strobl & Tucker, 2000:114). Opnames het begin wegbeweeg van die idee van 'n argief van klank en het 'n primêre medium vir die vervaardiging van musiek geword met die hulp van verskeie elektriese instrumente en meerkanaal bandopnemers wat in dié tyd ontwikkel is (Julien, 1999:357). In die 1960's het die musiekbedryf verder gegroei as gevolg van die bekendstelling van stereo opnames, en die belangstelling van die publiek ten opsigte van die kommersiële sukses het posgevat. Die *New Musical Express* het die eerste album ranglys in 1962 gepubliseer. (Strobl & Tucker, 2000:114)

Die invloed van populêre musiek op die totale musiekbedryf word deur Burkowitz (1977) opgesom:

"The biggest difference in this new world of sound is electric guitars and amplification, and the possibility for this to be recorded and distributed around the world rather than to be heard only in the farm yard. The impact that this new music made was tremendous. It gave birth to a fundamental change in nearly all areas of the business. In terms of recording techniques it brought about the independent producer and the hundreds of sound workshops that followed. The giants lost their hold on this evolution because they could neither follow the redistribution of claims and revenues compared with the freelancers, nor could they cope with the peculiarities and behavior of this new creative appearance. The unions did their part to take the instrument institutionalized studios out of the game when they

insisted that the union crew must still be paid when these new groups brought along their own mixers. The independent studio has in fact made recording history in consoles, methods, sound, and business. Today's machinery, whether pop or classically oriented, bears evidence of this influence."

Populêre musiek se wortels lê in 'n tradisie van lewendige uitvoerings maar het vanaf die laat 60's sterk beïnvloed deur die tegniese moontlikhede van die opname ateljee (Clarke, 1983:196).⁵ Die BEATLES se album *Sgt Pepper's Lonely Hearts Club Band*⁶ was een van die eerste albums wat se klank hoofsaaklik berus het op tegniese manipulasie in die ateljee. Dit sou later gevolg word deur die *Disco* styl van musiek, wat nooit buite die ateljee bestaan het nie (Theberge, 2004:768).

1.5 Luisteraars se Voorkeure

Adorno (1945:210) se kritiek teen populêre musiek was dat dit vervaardig word volgens vaste patrone met die doel om 'n eenvormige reaksie by luisteraars te ontlok. In die lig van hierdie stelling het verskeie ekonome in die verlede verbande gesoek tussen die aard van populêre musiek en die verbruik daarvan. Volgens Hamlen (1991:729) is daar breë verskille hoe kundiges die verbruikers van populêre musiek sien. Eerstens is daar diegene wat glo dat verbruikers nie oor die vermoë beskik om verskille in kwaliteit en musikale aanleg te waardeer nie. Die ander kant word verteenwoordig deur Rosen (1981:845) 'superster'-verskynsel waar aangevoer word dat minimale verskille in musikale vermoëns vergroot word tot die geweldige verskille in inkomste tussen musikante. Adler (1985:208) kon nie 'n verband vind tussen talent en inkomste van musikante nie en het meetbare en onmeetbare faktore geïdentifiseer wat moontlik 'n invloed kon hê. Dit sluit in die styl van musiek, geslag, voorkoms en voordragstyl.

Crain & Tollison (1997:187) het gepoog om die sukses van populêre liedjies te verbind met die interne struktuur daarvan deur die lengte en ritme (palse per minuut) te ontleed. 'n Databasis van 921 *Billboard*⁷ treffers vanaf 1940 tot 1988 is gebruik vir hierdie analise, en sosiale en

⁵Fouqué & Redlich (1962:1) verklaar dit op grond daarvan dat die verbruikers van populêre musiek se belangrikste vereiste 'effetiewe vermaak' is. Hierdie vermaak berus op die klank wat moderne opname-tegnieke kan verkry.

⁶Die BEATLES se album *Sgt Pepper's Lonely Hearts Club Band* het in 1966 verskyn en is vervaardig deur George Martin. Dit is gekenmerk deur die innoverende gebruik van interessante elektroniese effekte (Curtis, 1984:99). Dit het 'n groot invloed gehad op die ontwikkeling van populêre musiek. Die gebruik van orkes-, eksotiese- en elektroniese instrumente het 'n kenmerk geword van die popmusiek wat later sou volg (Gibson et al., 1992:155). Sien ook Moore (1997) se bespreking van die werk.

⁷Die *Billboard Magazine* is die eerste keer op 1 November 1894 gepubliseer deur

ekonomiese veranderlikes is ook in ag geneem. Geen patroon is gevind nie.

Hesmondhalgh (1999:45) het opgemerk dat luisteraars sekere meer eksperimentele albums sal beskryf as 'n innoverende produksie, terwyl ander albums as 'n 'oorproduksie' beskou word. Straw (1991:382) sien hierdie voorkeure as dinamies wat gereeld skuif tussen die uiterstes. 'n Voorbeeld is die voorkeur van luisteraars tussen lewendige en sintetiese klank wat met tyd verander. Luisteraars van populêre musiek is ook geneig om dekweergawes⁸ van populêre werke as 'verkeerd' te beskou (Geringer & Madsen, 1987).⁹

In navorsing oor luisteraars se voorkeure in populêre musiek is daar min daadwerklike gevolgtrekkings gemaak as gevolg van die diversiteit van die gehoor. Die enigste veranderlike wat wel sommige teoretiese voorspellings toelaat, is ouderdom (Hargreaves *et al.*, 1995). Met betrekking tot stylistiese voorkeure, verkies jonger luisteraars in die algemeen populêre style bo kunsmusiek (Brittin & Sheldon, 1995:36). LeBlanc *et al.* (1996:50) het die reaksie van verskillende ouderdomsgroepe as volg verdeel: Jong kinders tot rondom die ouderdom van agt jaar luister graag na, en hou van 'n wye reeks musikale style. Wanneer adoloesensie bereik word vernou die belangstelling in uiteenlopende style, en is daar gewoonlik 'n toename in voorkeur ten opsigte van populêre musiekstyle. In vroeë volwassenheid is daar dan weer gewoonlik 'n groter openheid teenoor diverse style, wat dan weer afneem in die bejaarde fase. Baumann (1960:81) het verskille gevind in die musieksmaak van tieners vanuit verskillende ekonomiese agtergronde, waar groepe met dieselfde status se voorkeure ooreenstem. Johnstone & Katz (1957:563) het gevind dat ooreenkomste in voorkeure in musiek ooreenstem in klein sosiale groepe, wat voorstel dat persoonlike verhoudings 'n rol speel in 'musikale modes'.

In navorsing om die estetiese reaksie van verskillende mense teenoor dieselfde stuk musiek te toets het Madsen *et al.* (1993:64) geen patroon gevind nie. Waarom luisteraars van populêre musiek sekere werke verkies, bly 'n raaisel. Teorieë sluit in dat sekere werke gewild word as gevolg van die blootstelling wat platejoggies daaraan gee. 'n Ander siening is dat jongmense sekere kunstenaars en werke sien as 'n vergestaltung

William H. Donaldson en James H. Hennegen in Cincinnati, Ohio as die *Billboard Advertiser*. Dit het aanvanklik gefokus op die advertensie industrie, maar het oor die volgende paar dekades uitgebrei om die vermaaklikheidsbedryf ook in te sluit. Die Top 100 Ranglys is in 1955 bekendgestel (Anand, 2006:140).

⁸'n Dekweergawe (Engels: *Cover version*) is 'n alternatiewe weergawe van 'n populêre werk wat of die oorspronklike weergawe kan naboots, of dit in 'n ander styl en met ander instrumentasie uitvoer. In populêre musiek is die 'n gereelde doelstelling van 'n dekweergawe om 'n radikaal verskillende interpretasie van die werk te ondersoek (Ellis & Poliner, 2007:1429).

⁹Sien ook Cusic (2005:171) se bespreking van die verbruikers se siening van dekweergawes

van waardes waarmee daar geassosieër kan word. Dan is daar ook die siening dat sekere werke struktureer en esteties op 'n hoër vlak is as ander (Boyle *et al.*, 1981:47).

1.6 Luisteraars se Oordeel van Klankkwaliteit

Sethares (2005:25) verdeel luisteraars in twee groepe: analities en holisties. Die verskil tussen die twee is dat analitiese luisteraars oor die vermoë beskik om die individuele komponente van 'n klanksein te hoor. Holistiese luisteraars hoor die musiek as 'n enkele homogene klank gekenmerk deur 'n unieke toonkleur. Letowski (1989) tref onderskeid tussen 'klankkwaliteit' en 'klank karakter', waar die eersgenoemde voorkeure en emosionele reaksies insluit, en die laasgenoemde slegs beskrywend van aard is.

Verskeie toetse is in die verlede gedoen om die oordeelsvermoë van naïewe luisteraars te ondersoek. Furman & Duke (1988:228) het 'n eksperiment gedoen waar opnames teen die verkeerde spoed teruggespeel is, en twee groepe gevra is om die populêre werke wat nie korrek teruggespeel word nie te identifiseer. Die een groep het bestaan uit gegradueerdes in musiek en die ander groep uit persone sonder enige musikale agtergrond. Beide groepe was ewe suksesvol in die identifisering van die korrekte weergawes van die musiek. Die navorsers skryf dit toe aan die invloed van die media wat luisteraars of 'n gereelde basis blootstel aan die oorspronklike weergawes. Studies deur Rumsey *et al.* (2005a:968) en Choisel & F. (2007:399) in die oordeel van klankkwaliteit het ook bevind dat ervare luisteraars geen voordele het in die oordeel van klankkwaliteit nie.

Voorkennis speel volgens (Møller, 1979a:387) 'n baie belangrike rol in die evaluasie van musiek of klankkwaliteit. Baie mense se idee van hoe 'n instrument 'behoort' te klink is volgens Thebérge (2001:5) sterk beïnvloed deur die klank van opnames. (White, 2006b:104) doen die voorbeeld aan die hand van waar mense so gewoon geraak het aan die klank van plaat- en vroeë digitale nagalm eenhede dat dit steeds beskou word as die manier hoe nagalm behoort te klink. Völker & Moerkhe (1975:1) voel dat pop, jazz, en dansmusiek moet voldoen aan die 'klank'¹⁰ wat verwag word deur die luisteraar. Die klankkwaliteit van opnames kan volgens Bech (1994:999) in twee hoofgroepe opgedeel word: toonkleur en ruimtelike informasie.

¹⁰Hierdie 'klank' word deur Völker & Moerkhe (1975:1) beskryf as 'n 'skerp klankbeeld met baie interessante effekte'.

Toetse deur Zielinski *et al.* (2005), Rumsey *et al.* (2005b) en George *et al.* (2006) het gevind dat die oordeel van klankkwaliteit deur luisteraars meer afhang van die timbre getrouheid as die ruimtelike akkuraatheid. Zacharov & Koivuniemi (2001a) kon geen verband vind tussen die voorkeur van luisteraars en akkurate lokalisasie nie. Daar kan afgelei word uit die bogenoemde dat die gemiddelde luisteraar van populêre musiek oor die vermoë beskik om akkurate oordele te fel oor die kwaliteit van 'n opname, hoofsaaklik gebaseer op die toonkleur.

Klank, Klankbronne en Klankwaarneming

OP 'n hoë vlak kan die fisiese eienskappe van klank verdeel word in die volgende vyf groepe: frekwensie, amplitude, tydsduur, timbre, en lokalisering. In 'n musikale konteks word hierdie groepe verdeel in relatief wye komponente naamlik: toonhoogte, dinamiek, ritme, timbre, en ruimtelike informasie (Moylan, 1987:2).

2.1 Eienskappe van Klank

Akoestiek is die studie van die ontstaan en voortplanting van klein meganiese verstourings in vloeistowwe (klank) of vaste stowwe (elastiese golwe) (Filippi *et al.*, 1999:1). Die term akoestiek, vanaf die Griekse woord vir klank, as beskrywing vir die wetenskap van klank is voorgestel deur Joseph Sauveur (1653 - 1713) (Raichel, 2000:4). Die eerste wetenskaplike ondersoek na die aard van klank word geassosieer met Pythagoras (ongeveer 580 - 500 v.C.) (Caleon & Subramaniam, 2007:173). In die 17^{de} eeu is groot vordering gemaak in die ontdekking van die natuurwette rondom vibrasie en frekwensies. Groot bydraes in die wetenskap van akoestiek is gemaak deur Marin Mersenne (1588 - 1648) en Galileo Galilei (1564 - 1642) (Pierce, 1999:3). Die moderne beskrywing van klankterme is ingelei deur die werk van Von Helmholtz (1885).

2.1.1 Frekwensie

Die frekwensiereeks wat die mens kan waarneem is van 20 tot 20 000 siklusse per sekond, 'n verhouding van 1000:1 (Fletcher, 1940:48). Frekwensie is die hoeveelheid periodes wat per sekonde in 'n klankgolf voorkom en word in die eenheid van Hertz (Hz) uitgedruk (Preis, 2002:2.8). Toonhoogte is die mens se persepsie van frekwensie, en kan verskil relatief

tot die amplitude van 'n sein (Everest, 2000:1).¹ Jean Baptiste Fourier het uitgevind dat 'n komplekse klanksein afgebreek kan word tot 'n versameling sinusgolwe (Smith, 2007). Die Diskrete Fourier Transform (DFT) kan waardes in die tydsgebied voorstel as spektrale komponente (Bracewell, 1989:62). Die vergelyking vir die Diskrete Fourier Transform is: (Cochran *et al.*, 1967:46)

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-i\pi k \frac{n}{N}} \quad k = 0, \dots, N-1. \quad (2.1.1)$$

Cooley & Tukey (1965) het die DFT aangepas na die Vinnige Fourier Transform (VFT), 'n baie vinniger metode om dieselfde resultaat uit te werk. Dit het gelei tot baie moontlikhede in die veld van digitale seinverwerking (Burrus *et al.*, 2008:2). Die wiskunde waarop die VFT berus is oorspronklik deur Johann Carl Friedrich Gauss (1777–1855) gebruik om 'n astroïed se wentelbaan te bepaal (Heideman *et al.*, 1984).

2.1.2 Amplitude

Die intensiteitskaal wat die oor kan waarneem is van 10^{-16} Watt per cm^2 tot 10^{-4} Watt per cm^2 , 'n verhouding van 'n triljoen tot een (Fletcher, 1940:48). Intensiteit, of klankdrukvlak, is soos frekwensie 'n fisiese eenheid wat gemeet kan word. Luidheid is verwant aan die intensiteit, maar is die subjektiewe psigiologiese oordeel van intensiteit. Soos frekwensie en toonhoogte, is intensiteit en luidheid nie liniêr verwant nie (Raphael *et al.*, 2007:47).

Die klankdrukvlak (KDV)² is die totale huidige druk op 'n bepaalde punt in die teenwoordigheid van 'n klankgolf, minus die statiese druk op daardie punt. Klankdrukvlak is 20 keer die logaritmiese verhouding tussen die wortel-gemiddeld-kwadraat (wgk)³ klankdruk en 'n WGK verwysingsdruk (Norton, 2004:8-41). Klankdrukvlak word gewoonlik uitgedruk in desibel (dB)⁴ relatief tot $20 \mu\text{Pa}$ ⁵, as dB(KDV), waar $P_{\text{effektief}}$ die gemete klankdrukvlak is, en $P_{\text{verwysing}}$ $20 \mu\text{Pa}$ of $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ is: (Howard & Angus, 1999:81)

¹Die wye veld van toonhoogtepersepsie val buite die bestek van hierdie studie. Sien Fletcher (1924), Boring (1926), Goldstein (1973), Terhardt (1979), Zatorre (1988), asook Meddis & O'Mard (1997)

²Engels: *Sound Pressure Level (SPL)*

³Engels: *root-mean-square (rms)*

⁴Desibel (dB), vernoem na Alexander Graham Bell, is 'n maatlose eenheid vir 'n logaritmiese kragverhouding (Gladstone & Bevirt, 1997:312). 'n Desibel is tien keer die logaritme van die verhouding tussen twee kragte (Case, 2007:21).

⁵Pascal, is die SI eenheid van druk, vernoem na die Franse wiskundige Blaise Pascal (1623–1662). Pascal is die krag van 1 Newton per vierkante meter ($1\text{N}/\text{m}^2$) (Olmsted & Williams, 1997:214).

$$dB_{KDV} = 20 \log \left(\frac{P_{effektief}}{P_{verwysing}} \right) \quad (2.1.2)$$

Die wortel-gemiddeld-kwadraat (WGK) meet die effektiewe drywing van die wisselstroom klanksein. In die geval van 'n sinusgolf is die WGK waarde 0,707 van die sein se maksimum waarde. In die geval van meer komplekse seine word die amplitude van elke botoon individueel gemeet en opgetel. WGK spannings kan nie direk opgetel word nie, dit is nodig om 'n WGK optelsom te doen, soos voorgestel in die vergelyking: (Cabot *et al.*, 2005:10-6)

$$V_{wgk\ totaal} = \sqrt{V_{wgk\ 1}^2 + V_{wgk\ 2}^2 + \dots + V_{wgk\ n}^2} \quad (2.1.3)$$

2.1.3 Fase

Fase is die tydsgebied verhouding van een sein tot 'n ander, (Stodolsky, 1970:288) gewoonlik uitgedruk in grade in geval van 'n sikliese golfvorm (Kaiser & Hedden, 2007:3). Alhoewel die terme fase en polariteit dikwels afgewissel word is dit nie dieselfde nie. Fase is relatief en kan enige waarde oor die frekwensie-spektrum aanneem, terwyl polariteit geen grootte het nie, dit is slegs positief of negatief. Fase verander oor tyd, maar polariteit bly tydlous (Johnsen, 1991:1).

Superposisie is waar meervoudige klankgolwe, of elektriese seine, wat op dieselfde punt verskyn, kombineer. Twee klanke met identiese frekwensie en amplitude sonder 'n verskil in fase, sal kombineer tot 'n identiese golfvorm met dubbel die amplitude van die twee bronsene (6dB KDV hoër) (Toole *et al.*, 2002:1.24). Byvoorbeeld, as twee golwe met amplitude α bymekaar getel word in fase ($\phi = N\pi$, waar $N = 0, 2, 4, 6, \dots$), is die resultaat amplitude 2α (Bartlett, 1970:674). Dit word konstruktiewe interferensie genoem. Sou die golwe een halwe golflengte geskuif word relatief tot mekaar, sal die druk- of stroomvlakke omgekeerd eweredig wees, en destruktiewe interferensie sal plaasvind (Toole *et al.*, 2002:1.24). Die golwe is nou 180° uit fase ($\phi = N\pi$ waar $N = 1, 3, 5, \dots$). Vir hoeke tussen 0° en 180° is die amplitude resultaat tussen 2α en 0 (Bartlett, 1970:674). Wanneer 'n sein gekombineer word met 'n vertraagde kopie daarvan, word die resultaat 'n Finiete Impuls Reaksie (FIT) kamfilter genoem (Steiglitz, 2006:101).

In 'n omgewing met nagalm is baie van dit wat gehoor word die resultaat van fase-kanselleries en word as natuurlik beskou (Cooper, 1987:637). Die belang is fase-integriteit is dat enige vervorming van fase in 'n komplekse golf 'n vervorming is van die golfvorm (Hansen & Madsen, 1974:10). Alle praktiese netwerke, seinverwerkers en opnemers wat

gebruik word in klankopnames het 'n tyds-domein invloed (Berkovitz & Edvardsen, 1977:1).⁶

2.1.4 Polariteit

'n Klanksein wissel altyd tussen bo en onder 'n sekere verwysingspunt. In akoestiek is hierdie verwysingspunt normale atmosferiese druk en in 'n klanksisteem is dit 0 VA punt waar daar nie 'n positiewe of negatiewe sein by die uittree sigbaar is nie (Ballou, 2009a:44).

Die absolute polariteit van 'n klanksein is volgens Vanderkooy & Lipshitz (1981:1) hoorbaar. Dit het moontlik te doen met die oor se sensitiviteit vir die polariteit van bewegende golwe op die basilêre membraan (Schroeder, 1975:1337). Toetse gedoen deur Greiner & Melton (1994) het bevind dat luisteraars wel tussen verskille in polariteit kan onderskei in die geval van toetsseine met 'n bestendige golfkruin, maar nie in die geval van musikale seine nie.

Die omkeer van polariteit word gedefiniëer as 'n proses wat die tyds-golf van die intreesein omkeer ($f(t) \rightarrow -f(t)$) Ten opsigte van frekwensie is die omkeer van polariteit 'n konstante rotasie van die fase van $\pm 180 \pm \pi$ radians teen alle frekwensies:

$$F(w) \rightarrow e^{\mp j\pi} F(w) \quad (2.1.4)$$

Dit word prakties bereik deur die sein deur 'n omkeerder te stuur of om die positiewe en negatiewe kontakskakke op 'n luidspreker om te ruil (Keele, 1991:1). In akoestiese transduktore (mikrofone en luidsprekers) word polariteit uitgedruk relatief tot die kompressie of rarefaksie van 'n klankgolf (Kaiser & Hedden, 2007:3).

2.1.5 Timbre en Tekstuur

Timbre verwys na die 'kleur' of kwaliteit van 'n klank wat nie met toonhoogte, amplitude en luidheid te doen het nie (Wessel, 1979:45). Von Helmholtz (1885) het toonkleur beskryf as die versameling van spektrale komponente van 'n sein. Grey (1975, 1977) se bydra tot die beskrywing van timbre was 'n multi-dimensionele voorstelling wat psigo-akoestiek, die spektrale energie van die frekwensie spektrum, asook die dinamiese vernadering van spektrum van die botoonstruktuur in ag geneem het.⁷

⁶Dit is teoreties onmoontlik om 'n analoë band-bepaalde toestel of filter te skep wat nie die sein vertraag nie (Berkovitz & Edvardsen, 1977:1). Vir 'n analoë filter om oor 'n liniêre fase-weergawe te beskik sou dit in die toekoms moes kan sien. Vir digitale filters is 'n liniêre fase-weergawe egter moontlik (Meinel, 1973:506).

⁷Staffeld (1984) het eksperimente oor die meting en voorspelling van toonkleur gedoen deur 1/3^{de} oktaaf metings te maak van die hele klankspektrum, en die oorkanaal se invloed te modelleer.

Timbre bly egter volgens Streicher (1990:125) een van die moeilikste eienskappe van klank om te beskryf as gevolg van die subjektiewe aard daarvan, gegrond op luisteraars se reaksie en nie noodwendig op fisiese eienskappe nie. Alhoewel timbre oor geen maateenheid beskik nie is die oor baie sensitief vir enige verskille in toonkleur (Fletcher, 1969:532). In sekere moderne musiek is timbre nie slegs 'n beskrywende term nie, maar staan sentraal tot die struktuur van die werk (Malloch & Campbell, 1994:589). Die seinverwerkingsmoontlikhede wat tegnologie teweeggebring het, het nog meer komplekse toonkleure toegelaat (McAdams & Cunib, 1992:383).

Harley (2004:49) gebruik die term 'tekstuur' om na die timbre van 'n opname te verwys. Populêre opnames word gekenmerk deur die kombinasie van 'n ryk spektrale balans⁸, die afhanklikheid van swaar perkussie, asook die beperkte dinamiese reeks wat geveer word deur radio uitsendings en die luisteromgewings waar hierdie musiek gewoonlik gespeel word (Everett, 2000:302). Populêre musiek se spektrale reeks word in meeste gevalle verteenwoordig deur die baskitaar en bastrom in die laagste band, met stemme, kitare in die middel frekwensies en met simbale wat die hoogste band vul (White, 2006b:108).

2.2 Klankvoortplanting

Klankbronne is altyd in 'n toestand van vibrasie. Om gehoor te word is dit nodig dat die vibrasies vanaf die bron deur lug oorgedra word tot by die oor (Rayleigh, 1894:1). Klank is 'n meganiese versteuring wat 'n meganiese elastiese medium vereis om voort te plant, en kan dus nie in 'n lugleegte voortplant nie. Die spoed van die klank hang af van die eienskappe van die medium waardeur dit voortplant (Raichel, 2000:16). Klankgolwe in die lug is longitudinaal van aard en bestaan uit areas van druk wat wissel tussen effens hoër en laer as atmosferiese druk.⁹ Die klank wat deur 'n luisteraar waargeneem word word nie alleen deur die sein wat die klankbron voortplant bepaal nie, maar die fisiese eienskappe van die omgewing speel 'n groot rol. Hierdie eienskappe sluit in die posisie en gerigtheidseienskappe van die klankbron en luisteraar, asook die geometrie en akoestiese invloed uitgeoefen deur voorwerpe in die seinpad (Lehnert, 1993:40).¹⁰

⁸Elektriese kitare word verterk met 'n groter aanwinst as wat die voersieningstroom kan lewer, wat tot gevolg het dat die golf fronte afgeknip word. Hierdie geknipte golwe besit baie meer botone as die oorspronklike sein (Whiteley, 2000:260).

⁹Die sagste klank wat die mens kan waarneem is $20\mu\text{Pascal}$ - 5,000 miljoen keer laer as atmosferiese druk (Everest, 2000:8).

¹⁰Daar is besluit om nie Loy (2006) se *Musimathics* as verwysing vir hierdie afdeling te gebruik nie as gevolg van onduidelikhede ten opsigte van fisiese beginsels agter kinetiese energie in die 2006 uitgawe.

2.2.1 Klankstraling

Klank plant sferies voort vanaf die bron, met elke lugpartikel wat die vibrasie oordra aan die atmosferiese partikel langsaan (Elson, 1921:469). Wanneer 'n lugpartikel verplaas word uit die posisie van rus neig die elastiese kragte tussen molekules om dit te herstel na die oorspronklike posisie. Die elastiese medium veroorsaak egter dat dit verder beweeg as die posisie van rus, met sekondêre elastiese kragte wat herhalend inwerk tot die partikel weer in 'n toestand van rus verkeer (Everest, 2000:5). Klankgolwe verswak soos dit van die bron wegbeweeg en is ook onderhewig aan refleksies en refraksies wat veroorsaak word deur objekte in die pad van die golf (Moore, 2004:2). In 'n vryeveld kan klankstraling wiskundig bereken word, maar in beperkte spasies word skaalmodelle, straaltekeninge, en rekenaarmodelle gebruik (Wright, 1995:813). 'n Vereenvoudigde siening is dat klank onder 300–400 Hz word gesien as golwe en bo dit as strale. 'n Klankstraal kan verskeie refleksies ervaar soos dit rondkaats in 'n ruimte, en die energieverlies wat met elke weerkaatsing plaasvind lei uiteindelik tot die verdwyning van die straal (Everest, 2000:236).

Baie vergelykings neem aan dat klank vanaf 'n infiniete puntbron gelyk in alle rigtings voortplant. Selfs al is die klankbron 'n monopool sal dit oor afstand vervorm tot 'n platgolf (Serway & Jewett, 1999:529). Die meeste klankbronne, soos die menslike stem, kan benader word as nie-ideale puntbronne (Torio, 1998:2).

2.2.2 Inverse-vierkantswet

Volgens die inverse-vierkantswet is die intensiteit van klank omgekeerd eweredig aan die vierkantswortel van die afstand in 'n vryeveld (Rimell & Hawksford, 1996:5). Dus in teorie neem die klankdrukvlak af met 6 dB vir elke verdubbeling in afstand in 'n vryeveld. (Flanagan & Taylor, 1999) In die praktyk is daar egter nie 'n perfekte gelykmatige verspreiding van intensiteit nie, as gevolg van die interferensiepatrone wat ontstaan by objekte wat die klank reflekteer (Waterhouse, 1955:247). Die klank wat vanaf soliede objekte weerkaats kombineer met die oorspronklike sein en beïnvloed die lugdrukveranderinge (Fletcher, 1931:258). Die intensiteit van 'n klank neem af tot op die punt waar dit verdwyn in lukrake molekuleêre beweging, ook bekend as hitte (Fahy, 2001:8). Die klank word vanaf die bron egalig oor die oppervlak van 'n sfeer versprei. Aangesien die oppervlak van 'n sfeer $4\pi r^2$ is, kan die verskil in klankintensiteit op verskillende afstande as volg uitgedruk word: (Toole *et al.*, 2002:1.21)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (2.2.1)$$

waar I_1 die intensiteit by radius r_1 is, en I_2 die intensiteit by radius r_2 is. Die verskil in intensiteit (in dB) word dan as volg bereken:

$$\begin{aligned}\text{Verskil in intensiteit} &= 10 \log \frac{r_1^2}{r_2^2} \\ &= 20 \log \frac{r_2}{r_1} dB\end{aligned}\tag{2.2.2}$$

2.2.3 Absorpsie

Absorpsie van klank gebeur wanneer akoestiese energie omgeskakel word in hitte, in 'n absorberende medium (Olson & May, 1953:1130). Absorpsie gebeur selfs in die atmosfeer wanneer molekulêre absorpsie 'n klein breukdeel van die energie omskakel in die interne modusse van vibrasie van die suurstof en stikstof molekules (Embleton, 1996:34). Volgens Moreland (1977:477) is een van die mees algemene metodes om die klankabsorpsie van 'n vertrek te meet die nagalm-tyd metode:

$$A^t = 0.161 V/T\tag{2.2.3}$$

waar A^t die totale klankabsorpsie van 'n vertrek is in m^2 en V die volume van die vertrek.

Absorberende materiale is baie effektief om klanke met middel- en hoë frekwensies te demp, maar is oneffektief by laer frekwensies as gevolg van die dikte van die absorberende materiaal wat benodig word om klank effektief te absorbeer (Mangiante, 1977:1516). Dus het klank wat opgewek word in 'n absorberende vertrek 'n laer intensiteit as normaalweg, veral teen hoë frekwensies (Ternström, 1989:15). Mat wat teen 'n muur geplaas word as absorbeerder het dus 'n beperkte invloed op middel- en lae frekwensies as gevolg van die dikte daarvan (Katz, 2002:48). Die absorpsie-koëffisiënt van 'n materiaal druk die verhouding uit tussen die akoestiese energie wat absorbeer word teenoor die energie wat weerkaats word (Olson & May, 1953:1130). Die absorpsie-koëffisiënt van 'n materiaal wissel ten opsigte van die frekwensie en invalshoek van die klankgolwe wat die medium tref (Everest, 2000:181). Poreuse materiale absorbeer akoestiese energie deur die drukverskille wat lugvloei in die ruimtes van die materiaal veroorsaak (Bleazey, 1961:1). Die verlies aan energie word veroorsaak deur die interne weerstand teen lugvloei in die materiaal en deur die hitte-oordrag tussen die lug en die materiaal (Kuttruff, 2007:62).

2.2.4 Refleksie

Die eerste studies oor die refleksie van klank het ten doel gestaan om die argitektoniese akoestiek van konsertsale te verklaar om die klankver-

sterking van die ruimtes te verbeter. In die meer onlangse geskiedenis het studies die rol van refleksies in huishoudelike en ateljee luisterkamers ondersoek Olive & Toole (1989a:539).

Klank weerkaats van objekte wat groot is in vergelyking is tot die golflengte van die betrokke klank (Everest, 2000:236). Schneider (2006:1) het bewys dat selfs die sanger se kop 'n merkbare invloed het op die mikrofoon. Vermeulen (1956:98) het gevind dat selfs teen 'n klein afstand vanaf 'n orkes in 'n konsertsaal die weerkaatste klank meer kan wees as die direkte klank. Klankweerkaatsing gebeur op baie dieselfde wyse as wat 'n spieël lig reflekteer, waar die invalshoekhoek gelyk is aan die hoek van refleksie (Giordano, 2010:420).

In die praktyk kom interferensie voor as gevolg van die kombinasie van direkte en weerkaatste klank by die oor of mikrofoon. Die amplitude van die weerkaatste klank is laer as die direkte klank weens die verlies aan energie as gevolg van absorpsie en die langer afstand wat dit trek. Of die interferensie konstruktief of destruktief is hang af van die afstand wat die klank trek en die golflengte van die klank (Toole *et al.*, 2002:1.24).

Die weerkaatste afstand tussen 'n klankbron bo die grond en die luisteraar is langer as die direkte klank. Die verskil in afstand het tot gevolg dat 'n verskil in fase tussen die twee seine by die oor van die luisteraar bestaan. By 'n sekere frekwensie sal die verskil in afstand 'n halwe golflengte wees, met 'n fase-verskil van 180° , wat sal lei tot algehele destruktiewe interferensie (Embleton, 1996:36).¹¹

Na 'n direkte klank die oor bereik het, word dit gevolg deur 'n oneindige aantal weerkaatsings vanaf die mure, dak en vloer van die lokaal. Hierdie verspreide klankinformasie, wat nie oor herkenbare rigtinginformasie beskik nie, staan bekend as 'nagalm' (Madsen, 1970:491).

2.2.5 Nagalm

Die getroue en natuurlike weergawe van klank hang af van baie faktore, onder meer die akoestiek van die spasie waarin die klank ontstaan het (Green & Maxfield, 1977). In die laat twintigerjare het opname-tegnici gepoog om so 'n droë en direkte klank as moontlik te kry, aangesien die opname-media beperk was in bandwydte en dinamiese reik (Eargle, 1986:490). Nog 'n rede vir die gebruik van naby mikrofoonplasing is om agtergrondruis te onderdruk (Blessner, 2001:2). Nagalm is gesien as iets wat die helderheid van klank negatief beïnvloed het, en opnamelokale is toegerus met baie absorpsie-paneel om die ruimte so droog as moontlik te maak (Borwick, 1977:690). *Columbia Records* het egter begin eksperimenteer met populêre opnames deur uit die ateljee te beweeg en

¹¹Vir 'n bron wat 0,3m vanaf die grond is, is die interferensie minimum 3,2kHz. Teen 'n hoogte van 0,6m is die interferensie minimum 1,6kHz, en teen 1,2m is dit 800Hz (Embleton, 1996:36).

koperblaasorkeste in groter konsertsale op te neem om die ruimte van die konsertsaal ook vas te vang. Die posisie van die mikrofoon en musikante in 'n bepaalde ruimte is al hoe meer ingespan om die klankkleur te beïnvloed tot op die punt waar daar in 1947 die eerste keer nagalm gebruik is as artistieke effek op die album *Peg-O-My-Heart* van die *Harmonicats* (Putnam, 1980:2). Nagalm het sederdien baie gewild geraak in populêre opnames (Doyle, 2004).

Sabine (1922)¹² se vergelyking bepaal dat as klank uitgestraal word teen 'n konstante intensiteit in 'n kamer, sal die digtheid van die klank-energie vermeerder totdat 'n ewewig bereik word tussen die klank wat uitgestraal word en die klank wat geabsorbeer word deur die kamer. Wanneer die klankbron ophou sal die energie-digtheid daal teen 'n tempo wat bepaal word deur die absorpsiekrag van die mure en meubels in die vertrek. Sabine het die RT_{60} ¹³ geformuleer:

$$RT_{60} = \frac{c \cdot V}{S\alpha} \quad (2.2.4)$$

waar c die spoed van klank is, V is die volume van die kamer in kubieke meter, S die totale oppervlak van die vertrek in vierkante meter, α is die gemiddelde absorpsie-koëffisiënt, en die produk $S\alpha$ is die totale absorpsie in *sabins*.

Young (1959:912) het gewys dat Sabine se vergelyking nie die vorm van die kamer of die absorpsie van lug in ag geneem het nie en het voorgestel dat vergelykings soos die van Eyring (1930:219), wat afgelei is van die refleksie in 'dooie' vertrekke, eerder gebruik moet word vir akoestiese berekeninge. Sabine en Eyring¹⁴ se vergelykings is gebaseer op verskillende afleidings: Sabine se vergelyking neem aan dat klank wat in 'n vertrek beweeg oppervlakke een na die ander tref. Eyring se vergelyking neem aan dat die aanvanklike klankgolf alle oppervlakke gelyk tref, en dat agtereenvolgende gelyke botsings wat verminder is deur die gemiddelde absorpsie-koëffisiënt, verwyder is van mekaar deur gemene vry bane (Beranek, 2006:1400). Eyring se hersiening kom daarop

¹²Professor Wallace C. Sabine (1868–1919) van Harvard Universiteit het 'n geweldige bydra gelewer tot die veld van argitektoniese akoestiek. Hy is in 1895 deur die president van die universiteit gevra om die problematiese akoestiek van 'n lesingsaal te ondersoek. Sy ondersoek het gelei tot die eerste kwantitatiewe verstaan van die aard van nagalm. Sabine het daarna met verskeie argitekte saamgewerk om geboue met goeie akoestiek te ontwerp, waarvan die bekendste sekerlik die *Boston Symphony Hall* is (Shankland, 1997:252).

¹³ RT_{60} (of T_{60}) is die tyd, in sekondes, wat dit neem vir die klankvlak in 'n vertrek om met 60dB te daal nadat die klankbron gestop het om klank voort te bring (Cowan, 1994:89).

¹⁴Carl Eyring, 'n fisikus wat werkzaam was by Bell Labortriums se *Sound Motion Picture Studio*, het Sabine se vergelyking in 1930 hersien (Thompson, 1997:597).

neer dat die numerise waarde vir die absorpsie van 'n vertrek, α , vervang is met 'n logaritmiëse funksie (Thompson, 1997:598).

Volgens Pierce (1999:263) lê 'n moontlike probleem met Sabine se vergelyking in die feit dat die energie-verlies tempo by t berus op 'n gekombineerde waarde van energie-digtheid in die vertrek. Die leemtes in die vergelykings van Sabine en Eyring het Neubauer (2000:1709) daartoe gelei om die vergelyking van Fitzroy (1959:893) aan te pas om 'n meer akkurate berekening van nagalm te doen. Everest (2000:160) verdedig egter Sabine se vergelyking op grond daarvan dat die berekening van die absorpsie-koëffisiënt alle noodsaaklike faktore in ag kan neem, en dat die vergelyking dus volledig is.

Penner (1979:351) voel dat kenners glad nie saamstem oor 'n universele stel optimale nagalm eienskappe nie, tog stem meeste ooreen dat vertrekke vir musiekuitvoering oor geleidelike en egalige veranderende nagalm moet beskik. MacNair (1930:242) het daarop gewys dat hierdie gewenste wegsterf van klank nie 'n empiriese waarde is nie, maar dat die verskille in sensitiwiteit van die menslike gehoor teen verskillende frekwensies in ag geneem moet word.¹⁵ Griesinger (1995:1) beklemtoon 'hardlopende nagalm'¹⁶, die nagalm wat gehoor word terwyl musiek speel, as een van die belangrikste gewaarwordings in musikale akoestiek. Daar is egter geen wyd-aanvaarde metode om 'hardlopende nagalm' te beskryf of te meet nie.

Die sogenaamde 'kritiese afstand' van 'n vertrek, ook soms genoem die nagalm afstand, is die afstand van 'n klankbron waar die direkte en weerkaatste klankenergie gelyk is (Jetzt, 1979:1204). Hierdie afstand hang af van die totale absorpsie van die vertrek asook die rigting waarin die klankbron voortplant (Whitaker, 2002:35). Peutz (1971:915) het die kritiese afstand gedefiniër as die afstand waarna verdere vermeerdering in afstand nie enige verandering in spraakherkenning veroorsaak nie. Die probleem met Peutz se definisie is dat verdere toename in afstand spraakherkenning negatief sal beïnvloed as gevolg van die invloed van die inverse-vierkantswet op die direkte klank, terwyl die nagalm-energie konstant bly (Ricketts & Hornsby, 2003:474).

2.2.5.1 Kunsmatige Nagalm

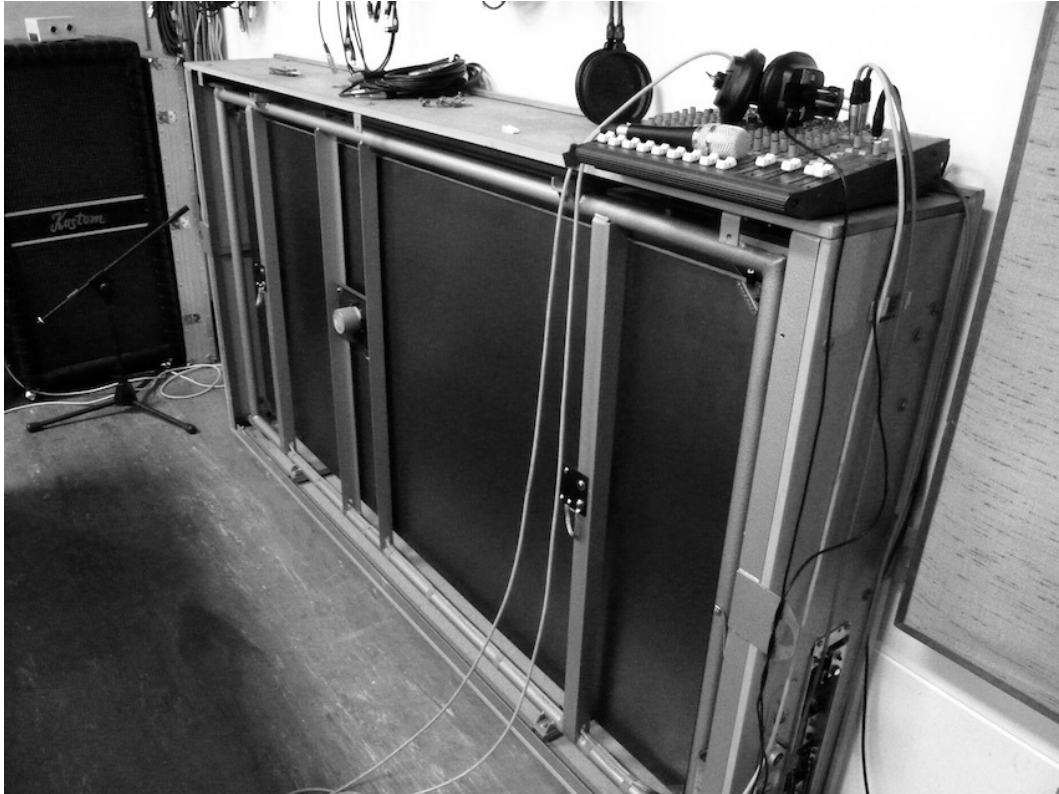
Kunsmatige nagalm is die eerste keer deur RCA¹⁷ geskep in 'n nagalmkamer in 1926 (Blessner, 2001:2). Bell Labrotoriums het die eerste elektromeganiese veernagalm-eenheid vervaardig in 1928 wat op Wegel (1932) se patent berus het. Plaatnagalm is deur Kuhl (1960) uitgevind en ELEKTROMESSTECHNIK (EMT) het die model 140 (fig. 2.1) in 1957 bekenge-

¹⁵Sien Fletcher & Munson (1933)

¹⁶Engels: *Running reverberation*

¹⁷*Radio Corporation of America.*

stel (Abel *et al.*, 2009:1). Schroeder & Logan (1961) het die eerste digitale nagalmeenheid in 1961 gedemonstreer¹⁸, maar die eerste kommersiële produk wat met analoog eenhede van die tyd kon kompeteer, die EMT 250, is ontwikkel deur Blesser & Bader (1980) en is in 1976 bekendgestel (Borß, 2009:1).



Figuur 2.1: EMT 140 plaatnagalm-eenheid (met deksel verwyder)

2.3 Psigo-akoestieke Beginsels

'n Breë definisie van psigo-akoestiek is die studie van die psigologie van gehoor. Dit fokus op die reaksie van organismes op klank en sluit in navorsing oor die basiese gehoorvaardighede en werking van die oor, asook hoe klank herken en geïnterpreteer word (Viemeister, 1990:13). Die term 'akoestiek' word gewoonlik gebruik vir fisiese eienskappe, terwyl 'ouditief' die persepsie van klank beskryf (Lehnert, 1993:40).

¹⁸Sien ook Schroeder (1961, 1962, 1970).

2.3.1 Model van die Oor

Die oor bestaan uit die oorskulp met die funksie om 'n klankgolf vanaf 'n groter area te fokus in die kleiner area van die oorkanaal.¹⁹ Die middeloor pas die impedansie aan tussen die lae impedansie van klankvoortplanting in die lug en die hoë impedansie van die van die vloeistof-ge vulde binne-oor (Kollmeier, 2008:149). Die koglea is 'n buis wat in 'n spoel gedraai is met 'n membraan wat bedek is deur haarselle wat gestimuleer word deur beweging van vloeistof. Hierdie seine word oorgedra deur die gehoorsenuwee na die brein (Myers, 2006:145). Die kogleêre reaksie is die proses waar 'n elektriese golfvorm genereer word ooreenstemmend met die verskille in lugdruk. Hierdie sein stimuleer 'n elektrochemiese reaksie van die daaropvolgende senu-vesels wat 'n puls-geënkodeerde sein verteenwoordigend van die verskille in lugdruk tot gevolg het (Clark *et al.*, 1957:100). Griesinger (1992a:119) stel gehoor voor as die volgende model:

- Die twee ore word geskei van mekaar deur 'n obstruksie met groot afmetinge relatief tot die golflengte van klank bo 500Hz. Dus word aanvaar dat klank onder 500Hz minder verskil van oor tot oor in druk amplitude as klank bo 500Hz.²⁰
- Die eerste stap in klankwaarneming is die banddeurlaat filtrering in die basilêre membraan, waarna die oor en brein die informasie afsonderlik prosesseer vir elke kritiese band. Elke kritiese band is 'n derde oktaaf wyd.²¹
- Die klankwaarneming van die basilêre membraan is gelykgerig²² en logaritmies, met hoër vlakke van neurone wat die logaritme van die druk verwerk en nie die druk self nie.
- Die brein verwerk die seine van beide ore apart vir elke kritiese band en stel die rigting van elke klankbron vas, asook die vinnige toename in enige klank (om die aanvang van konsonante en vokale op te spoor). Die rigting van die klankbron word afgelei deur 'n

¹⁹Sien Beckett (1981:49) vir die biologiese detail van die oor wat buite die bestek van hierdie studie val.

²⁰Sien die werk van Glasberg & Moore (2010) op die gebied van verskille in amplitude tussen die twee ore.

²¹Die idee van kritiese bande is die eerste keer gepubliseer deur Fletcher (1940). Komponente van verskillende frekwensies tree dikwels op asof dit geprosesseer word deur aparte onafhanklike auditêre kanale. Dit blyk ook dat die spektrum van die akoestiese sein versprei word oor die lengte van die basilêre membraan (De Boer & Bouwmeester, 1974:237). In die praktyk word die kennis rondom kritiese bande veral toegepas in kodering soos in die geval van die *MPEG1-layer3* kodek (Baumgarte *et al.*, 1995). Sien ook Greenwood (1961a,b), Pickles & Comis (1976), Saunders *et al.* (1979) en Yost & Shofner (2009).

²²Engels: *Rectified*

proses wat die gemiddeld van die skynbare rigting van elke kritiese band in ag neem.

2.3.2 Lokalisering

Dit word aangeneem dat die oor nie 'n enkele wyse het waarop dit klank lokaliseer nie, maar dat verskeie metodes soos die verskil in amplitude, fase en tyd gebruik word. In die geval waar die verskillende metodes verskillende resultate wys neem die brein een of ander meerderheidsbesluit (Gerzon, 1992a:3). Lord Rayleigh (1842–1919) was die eerste persoon om die lokalisering van 'n klankbron te verbind aan die verskille in tussen-oor amplitude verskille. 'n Klank wat vanaf die sykant voortplant word deur die kop onderbreek en 'n verskil in die klankdrukvlak sou die gevolg wees (Middlebrooks & Greenhaw, 1991:135). Latere werk in die gebied van die 'kop skadu-effek' is gedoen deur Sivian & White (1933:288). Die hoeveelheid 'akoestiese skaduwee' hang af van die golflengte van die klank relatief tot die grootte van die kop. Middlebrooks *et al.* (1989:89) het bevind dat die verskil tussen die twee ore soveel as 35dB kan wees teen hoë frekwensies.²³ Cheng & Wakefield (1999:2) stel die frekwensie waarteen die kop 'n 'akoestiese skaduwee' oor die verste oor gooi vas as 1500Hz. Ekperimente deur Hartley (1919:373), Stewart (1920:433) en Hartley & Fry (1921) het gedemonstreer dat intensiteitsverskille tussen die ore nie genoeg is om lokalisering teen laer frekwensies te verklaar nie, en dat die verskil in fase ook in ag geneem moet word.

Wanneer 'n klank afkomstig van 'n natuurlike bron die luisteraar bereik verskyn daar 'n verskillende spektrum van amplitude en fase by elke oor. Hierdie verskille word deur die brein vertaal in 'n gewaarwording van die rigting waaruit die klank kom. Elke rigting word geassosieër met 'n verskillende versameling tussen-oor verskille (Shaw, 1974:1848) (Bartlett & Billingsley, 1990:544). Die verskil in amplitude is veral baie belangrik in die lokalisering van lae-frekwensie klank (Griesinger, 1987:1). Tussen 700 en 1500Hz speel beide fase en amplitude verskille 'n rol, en bo 1500Hz is dit hoofsaaklik die verskil in amplitude (Cooper & Bauck, 1980:1). Frekwensies onder 100Hz word nie gelokaliseer nie (Harvey & Schroeder, 1961:19).²⁴

Tussen-oor tydsverskille, en die variasie daarvan ten opsigte van beweging van die kop speel ook 'n groot rol in die lokalisering van klank (Leakey, 1959:984). Die oor en brein gebruik verskillende waarnemings-

²³Selfs die oorskulp speel 'n groot rol in die lokalisering van klank aangesien die vorm daarvan, en die filtrering wat dit veroorsaak, 'n invloed het op die klank (Wightman & Kistler, 1990:23). Veral onderskeiding tussen klank van voor of agter word deur refleksie van die oorskulp bepaal (Gardner & Gardner, 1973:400).

²⁴Dit verklaar die teenwoordigheid van slegs een sub-bas luidspreker in baie meerkanaal klankstelsels.

meganismes op bestendige klanke en klankpieke (Wallach *et al.*, 1973). Die Haas-effek (Haas, 1972) of die 'wet van die eerste golffront' (Cremer, 1977:421) speel die grootste rol in die lokalisering van klankpieke (Blauert, 1971). Die direkte klank en refleksies binne die eerste 2ms dra by tot lokalisering (Wallach *et al.*, 1973:817). Refleksies wat voorkom tussen 5–35ms na die direkte klank het 'n invloed op die wydte van die klankbeeld wat waargeneem word (Gardner, 1973:430).²⁵ Eggo's vanaf 5–50ms smelt nie met die direkte klank saam nie, maar dra by tot die algemene tonale karakter van die klank (Bartlett & Billingsley, 1990:544). Wanneer twee of meer klanke teenwoordig is, en veral as hierdie klanke spektraal oorvleuel, is die lokalisering nie so akkuraat nie (Moore, 1999:250).²⁶

2.4 Afstandswaarneming

Die luidheid van 'n klankbron, een van die belangrikste faktore in die bepaling van afstand, is problematies vir die ouditêre stelsel as gevolg van die persepsionele aard daarvan. Luidheid besrus op die akoestiese intensiteit, frekwensie en duur van die klank (Zahorik & Wightman, 2001:78). Die afname in intensiteit gebeur volgens die inverse-vierkantswet. Aangesien die klankdrukvlak van 'n bron afhanklik is van die energie van die bron uitstraal, asook afstand wat dit voortplant, is die vlak by die oorslegs relatiewe behalwe as die luisteraar kennis beskik oor die vlak van die bron (Shinn-Cunningham, 2000:1).

Frekwensie dra by tot die herkenning van afstand op twee wyses. Eerstens is daar die verlies van hoë frekwensies in die lug wat hoorbaar is in afstande meer as 5m (Coleman, 1968:631). Tweedens is daar die interoor verskille as gevolg van die akoestiese skaduwee van die kop wat verander relatief tot die afstand van die klankbron (Mills, 1958:237).

Volgens Gerzon (1992d:1) het eksperimente gewys dat een van die belangrikste faktore in die herkenning van absolute afstand die vroeë refleksies is wat die direkte klank begelei. Waar groot afstande ter sprake is, is die vlak van die nagalm relatief tot die direkte klank wat die oor bereik onafhanklik van die posisie van die klankbron relatief tot die luisteraar (Shinn-Cunningham, 2000:2).

Afstand kan ook bepaal word deur slegs een oor, en dit maak staat op die vermoë van die oor om die kromming van 'n klankgolf waar te neem, wat in die geval van 'n puntbron afneem met afstand (Boré, 1957:1).

²⁵Vertraagde refleksies veroorsaak fluktuasies in die tussen-oor tyds- en intensiteitsverskille. Die amplitude van die fluktuasies is direk-eweredig aan die energie van die refleksie (Griesinger, 1997:2).

²⁶Sien Perrott (1984:1201) se studie oor die lokalisering van oorvleuelende klanke.

2.5 Persepsie van Diepte

Diepte is die skynbare klankbeeld vanaf 'n luisteraar waar sekere klanke nader en ander as verder voorkom (Bartlett & Billingsley, 1990:543). Griesinger (2000:9) beskryf diepte as klankbronne wat klink asof die oorsprong agter en nie in die luidspreker is nie. Rumsey (2002:660) interpreteer diepte as:

“the sense of perspective in the reproduced scene as a whole, and refers to the ability to perceive a scene that recedes from the listener, as opposed to a flat sound image. It is sometimes possible, for example, to judge source distance in mono (by listening to the direct-to-reverberant sound ratio and the relative loudnesses of the sources), but mono reproduction (it may be argued) gives little or no sense of spatial depth.”

Verskeie faktore dra by volgens Nielsen (1991:2) tot die persepsie van diepte, dit sluit in:

- Luidheid
- Frekwensie spektrum
- Kennis van bron
- Nagalm
- Kennis van luisteromgewing
- Tussen-oor verskille

Nielsen (1991:2) beklemtoon die verskille tussen ‘absolute’ en ‘relatiewe’ faktore. Absolute faktore verskaf inligting oor die diepte, selfs al is dit die eerste klank wat gehoor word. Relatiewe faktore is dié wat slegs verskille in afstand aantoon.

2.6 Ruimtelikheid

Ruimtelikheid beteken dat die idee van 'n groot en omringende klankveld waargeneem word (Griesinger, 1996:1) (Lehnert, 1993:45). Dit verskil van nagalm aangesien dit nie 'n tydelike klad van klankinformatie is nie, maar word veroorsaak deur vroeë (korter as 80ms) laterale weerkaatsings (Blauert & Lindemann, 1986:533). In gevalle waar die gang en klankdruk ongekorreleerd is of baie vinnig in fase teenoor frekwensie wissel, is die resultaat 'n indruk van ruimtelikheid (Griesinger, 1985:2). Theile (2000:3) beskryf die optimum vertraging van vroeë laterale weerkaatsings tussen 10 en 80ms. Volgens Barron & Marshall (1981:211) is ruimtelike indruk hoofsaaklik afhanklik van lae-frekwensie klankenergie onder 80Hz wat tussen 10 en 100ms na die direkte klank by die oor

aankom. Die invloed van die kop en die akoestiese skaduwee wat dit veroorsaak speel ook 'n groot rol in die ruimtelike indruk wat geskep word (Zacharov & Koivuniemi, 2001b:2) (Griesinger, 1992b:3).

'n Groot ruimtelike indruk word verlang in lokale wat gebruik word vir uitvoerende kunste (Barron, 1971, 2000:475). 'n Studie deur Theile (2000:6) van die wêreld se voorste konsertsale het gevind dat die indirekte klank die direkte klank volg in die omgewing van 20ms. Hierdie tydgleuf skep by die luisteraar 'n indruk van die grootte van die lokaal.

In baie van vandag se populêre opnames bevat die sein wat oopge-neem is geen ruimtelike informasie nie (Lehnert, 1993:45). 'n Kunsmatige indruk van ruimte word geskep deur middel van kunsmatige nagalm, effening of vertraging (Gerzon, 1992d).

Instrumentasie in Populêre Musiek

KLANKBRONNE maak 'n klank deur te vervorm, vibreer en terug te keer na 'n toestand van rus.¹ Die vervorming genereer potensiële energie wat omgeskakel word in kinetiese energie. Die energie word stelselmatig deur die klankbron verkwis deur middel van 'n proses wat 'damping' genoem word (Gaver, 1993:10). 'n Instrument straal verskillende frekwensies uit in verskillende rigtings, en dit verwek verskillende toonkleure by verskillende dele, dus is dit uiters belangrik dat die opname-tegnikus kennis dra van die basiese klankopwekking van instrumente om goeie besluite oor die plasing van mikrofone te kan neem (Bartlett, 1981:2).

3.1 Akoestiese Kitaar

Die ontwikkeling van die moderne kitaar is gedryf deur pogings om die instrument se projeksie van klank te vermeerder (Usher, 1956:5). Die barok kitaar was kleiner as moderne kitare, en het oor dermsnare en laer snaarspanning beskik, wat aan dit 'n ander toonkleur besorg het (Jensen, 1985).² Die uitdaging in die vervaardiging van 'n kitaar is om 'n bakwerk te maak wat sterk genoeg is om die spanning van die snare te kan weerstaan, terwyl dit lig genoeg is om teen so 'n groot moontlike amplitude te vibreer (Fletcher, 1999:751).

¹Die teorie van klankstraling van vibrerende objekte word gewoonlik uitgedruk in 'n Green-funksie (Sien Gilbert & White (1989)), met die vryeveld funksie in drie dimensies wat as volg uitgedruk word:

$$G_{\omega}(r|r_0) = \frac{e^{iKR}}{4\pi R}, \quad R = |r - r_0| \quad (3.0.1)$$

waar K die golfnommer is, $K = (\omega/c)r_0$ die afstand van die bron tot die oorsprong, en r die afstand van die veldpunt tot die oorsprong (Geddes, 1986:466).

²Sien Tyler (1975) en Gill (1981) vir 'n oorsig oor die ontwikkeling van die kitaar.

Orville Gibson was verantwoordelik vir die ontwikkeling van die staal-snaarkitaar. Die instrument is aangepas om die hoër spanning wat staal snare meebring te kan hanteer (Martin, 1998:86). Dwarsbalke is onder die klankbord aangebring, wat die klankbord versterk het, sonder om die beweegbaarheid daarvan te strem (Elejabarrieta *et al.*, 2000). C. F. Martin³ se bydra was die rangskikking van die dwarsbalke in 'n X-patroon, wat steeds die standaard praktyk is (Everett, 2003:332).

'n Snaar vibreer teen 'n kombinasie van die veelvoude van die natuurlike frekwensie, teen verskillende amplitudes. Die verhouding tussen die amplitudes van die verskillende harmonieke hang af van wyse waarop die snaar in beweging geplaas word (Benson, 2006:16). Die snare van 'n kitaar genereer slegs 'n klein hoeveelheid klank, maar dra vibrasie oor aan die brug en bak van die kitaar waarna klank gestraal word deur die bak en klankgat (Rossing & Eban, 1999:2991). Hoë frekwensies word hoofsaaklik deur die klankbord gestraal (Fletcher & Rossing, 1998:240). Die klank wat deur 'n vibrerende plaat verwek word kan verdeel word in drie stappe: die drywing, die plaat se reaksie tot die drywing, en die klankstraling van die plaat (Jansson, 1969) (McIntyre & Woodhouse, 1978:157). Die laagste resonansie van die lug in die kitaar se bakwerk, wat verskil van instrument tot instrument, word die Helmholtz resonansie genoem (Bork, 1992). Die vorm van die instrument en die hout waarvan dit vervaardig word veroorsaak komplekse elastiese- en dempingseienskappe (Chaigne, 1999). Studies deur Firth (1997) en Lai & Burgess (1990) wat laser-hologramme gebruik het om die resonansies van 'n kitaar se klankbord te meet het gevind dat die klankbord op komplekse en onvoorspelbare wyses vibreer. Die tipe hout waarvan die instrument vervaardig word is volgens Yoshikawa (2007:568) die grootste bydraende faktor tot die klank daarvan. Die tipe hout se selsamestelling en hoe die selle aan mekaar heg, het 'n groot invloed op hoe dit vibreer (Obataya *et al.*, 2000:2993). Sparhout⁴, 'n gewilde materiaal vir kitaar klankborde, het byvoorbeeld die eienskap dat dit hoër frekwensies meer demp as laer frekwensies (Meinel, 1957:820).

Eksperimente het ook bewys dat die lug wat deur die kitaar se bakwerk vasgevang word 'n groot invloed het op vibrasies (Isaksson *et al.*, 1995:450). In 'n kitaar is daar 'n volgehoue interaksie tussen die elastiese golwe in die snare en klankbord en die akoestiese golwe in die bakwerk en omringende lug (Derveaux *et al.*, 2003:3368). Meinel & Jansson (1991:11) het bevind dat selfs die nek van die kitaar 'n groot rol speel in die vibrasies wat deur die kitaar genereer word.

³Duitse kitaarbouer Christian Friedrich Martin het die *Martin* maatskappy in 1833 gestig in New York. *Martin* het verhuis na die huidige fabriek in Nazareth, Pennsylvania, in 1839 (Everett, 2003:332). Sien ook Johnston *et al.* (2009), Gura (2003) en <http://www.martinguitar.com/>

⁴Engels: *Birch*

3.2 Klavier

Die klavier word gesien as 'n slaginstrument as gevolg van die eksponensiële wegsterwe van vibrasie wat veroorsaak word deur 'n perkussiewe aanslag van 'n hamer op 'n snaar (Cook, 1997). Die instrument het stelselmatig ontwikkel tussen 1760–1780 vanuit die klavesimbel (Hess, 1953:75). Bartolomeo Christofori was verantwoordelik vir die ontwerp van die klavier (Colt, 1973:28). Aanvanklik was die raam van hout, maar rame vervaardig van yster het in die negentiende eeu verskyn (Grafin, 1974:118). Navorsing deur Bensa *et al.* (2003), Chaigne & Askenfelt (1994) en Smith (1996) met die doel om fisiese modelle te skep, wys dat die wyse waarop die klavier klank verwek en oordra uiters kompleks is.

Die klavier bring 'n klank voor deur 'n hamer wat die snare in beweging sit, en vervolgens die vibrasie oordra aan die klankbord via die brug (Benade, 1990:346). Die feit dat die hamer vir 'n baie kort tydperk kontak maak met die snare het 'n groot invloed op die tipe klank wat voortgebring word (Hall, 1986:141). Die snare van 'n klavier word geklassifiseer as 'stye snare', wat oor beide eienskappe van 'n gespanne snaar en 'n soliede staaf beskik Fletcher (1969:532). As gevolg van die styfheid van die snare beweeg die hoër-frekwensie komponente viniger as die laer-frekwensie komponente wat tot gevolg het dat die botone nie harmonies is nie (Suzuki & Nakamura, 1990:178). Aangesien twee of drie snare gebruik word per noot, behalwe vir die laagste snare, is daar 'n uitruiling van energie wat plaasvind tussen die snare (Weinreich, 1977:1474). Die klankbord van die klavier is 'n twee-dimensionele golfdraende medium wat versterk is met dwarsbalke om die hout dieselfde sterkte te gee dwars oor die grein as in die lengte (Benade, 1990:329). Die klankbord vibreer op lukrake wyses te wyte aan die materiaal waarvan dit vervaardig word (Bücker, 1990).

3.3 Elektriese Instrumente

Elektriese of elektroniese instrumente is instrumente wat nie op akoestiese middele steun om of klank te skep of te versterk nie. Analooë (Moog, 1965:200), frekwensie-modulasie- (Chowning, 1973:526), en digitale sintiseerders (Samson, 1980:106) (Alles, 1980:436) met die verskeie koppelvlakke wat dit beheer (Paradiso, 1997:18) val onder hierdie groep wat ekstensief gebruik word in die vervaardiging van populêre musiek. Hierdie studie fokus egter op mikrofoonplasing en dus sal daar gekyk word na instrumente waarvan 'n versterker, soos in die geval van elektriese kitare, of ingeboude luidsprekers, soos in die geval van 'n elektroniese klavier, 'n deurslaggewende element is van die klank wat dit voortbring.

3.3.1 Elektriese Klawerinstrumente

Hammond (1934) het sy bekende orrel in 1934 gepatenteer. Dit het 'n stelsel van 91 skywe gebruik wat 'n periodiese golf opwek deur in 'n magnetiese veld te roteer en sodoende die vloeddigheid van die magnetiese veld moduleer. Die klein spanningsverskil wat hierdeur opgewek word, word deur vakuumbuis versterker versterk (Whitlock, 1936:1017). Die HAMMOND orrel is in 1947 gevolg deur die RHODES elektriese klavier en in 1949 deur die WURLITZER (Roads, 1996a). Elektriese klaviere gebruik elektromeganiese of elektroniese klankopwekkers om die klank van die klavier na te maak. Vibrasie elemente het al snare, stemvurke en riete ingesluit (Fletcher & Rossing, 1998:396). Rhodes (1970) se klavier het berus op 'n meganiese aksie met 'n klawer, hamer en demper. 'n Aangepaste stemvurk word deur die hamer geslaan en 'n elektromagnetiese toestel neem die vibrasies op. Die werking van WURLITZER elektroniese klavier berus op Miessner (1956) se patent⁵ Die unieke klank van die WURLITZER het te doen met die wyse waarop die sensors⁶ geplaas is relatief tot die riet, sodat 'n simmetriese beweging van die riet 'n asimmetriese klankgolf ryk aan botone opwek (Holland, 2003:121).

3.3.2 Elektriese Kitare

Die eerste elektriese kitaar sensors was aangepaste plaatspelernaalde wat gepoog het om die kitare te versterk op 'n gemakliker manier as om 'n mikrofoon voor die kitaar te plaas (Poss, 1998:46). Die elektriese kitaar met 'n soliede bakwerk is in die laat 1930's ontwikkel deur mense soos George Beauchamp, Adolph Rickenbacker, Paul Barth, Paul Bigsby, Merle Travis, Les Paul, Leo Fender and George Fullerton (Millard, 2004:44). Leo Fender het die elektriese baskitaar⁷ met 'n soliede bakwerk in 1951 bekendgestel en word as die uitvinder daarvan gesien, maar dit is onlangs ontdek dat Paul H. Tutmarc reeds 'n baskitaar in 1933 ontwikkel het (Brewer, 2003:351). Waksman (2004:675) het die geboorte van die elektriese kitaar as volg beskryf:

“Particularly in the early years of the instrument, during the 1930s and 1940s, many guitar designers worked in their garages or backyards, following a rather informal process of experimentation and adjustment in pursuit of results that

⁵Praktiese implimenterings van die WURLITZER gebruik Andersen (1959a,b, 1960, 1961) se patente.

⁶Engels: *Pickups*

⁷Die FENDER *Precision Bass* is so genoem as gevolg van die frets wat die korrekte intonasie baie makliker gemaak het as 'n kontrabas (Manus & Manus, 2006:4). Sien ook Black *et al.* (2001).

were sometimes not clearly defined until they were achieved."

Elektriese kitaar sensors werk op die beginsel van elektromagnetiese induksie. Dit is die fisiese wet wat stel dat wanneer daar relatiewe beweging is tussen 'n elektriese geleier en die vloedlyne van 'n magnetiese veld, daar 'n stroom in die geleier opgewek word (Hopkin, 2002:18). Die uittreesein van 'n elektriese kitaar is in die omgewing van $67\mu W$ en dit vereis 'n versterker met 'n hoë aanwins om dit tot 'n praktiese vlak te versterk (Thompson, 1998:155).



Figuur 3.1: Die Fender Telecaster

3.3.3 Instrument Versterkers

'n Luidspreker is 'n elektro-akoestiese transduktor wat dit ten doel stel om akoestiese energie in die lug te skep relatief tot die elektriese in-treesein (Martin, 2004:20.25). Alhoewel dit 'n transduktor is kan dit ook krag verkwis, energie stoor, die frekwensie-spektrum wysig en vervorming veroorsaak (Heyser, 1969:31). Die ideale luidsprekerkabinet het rigiede wande wat geensins beweeg nie, maar in die praktyk vibreer die wande as gevolg van die veranderinge in druk in die kabinet, wat die frekwensie-spektrum beïnvloed (Bastyr & Capone, 2003:234). Wanneer wisselende elektriese strome na luidsprekers gevoer word neig die diafragma om in verskillende modusse te vibreer. Die diafragma is nie styf genoeg om al die kragte wat daarop uitgeoefen te word akkuraat oor te dra nie, en begin in dele te vibreer, die sogenaamde 'opbreek' van die keël (Frankort, 1978:609). Aan die kant van kragversterkers is daar ook afwykings van die ideaal. Transistors en vakuumbuise is nie perfek liniêr nie, (Hawsford, 1981:27) en die ontwerp van 'n versterker is altyd 'n kompromis tussen effektiwiteit en kwaliteit (Jeong *et al.*, 1997:1210).

Dit is juis die beperkings van versterkers wat bydra tot die gewenste klank van elektriese kitare, orrels en klaviere. FENDER MUSICAL INSTRUMENTS CORPORATION⁸ se eerste baskitaarversterker, die *Bassman*, het een van die mees gewilde kitaarversterkers geword as gevolg van die vervormde klank wat verkry is met baie hoë aanwins (Teagle & Sprung, 1995:18). Kringfluit⁹ vir artistieke effek is nog 'n voorbeeld van waar 'n versterker buite die ontwerpdoel gebruik word (Sullivan, 1990:32).

Baie spelers gebruik ook eksterne seinvervormers soos IBANEZ¹⁰ se *Tube Screamer*¹¹ om die sein verder te vervorm (Yeh *et al.*, 2007:1). Digitale simulaties van gewilde stroombane is ook baie algemeen vandag (Yeh & Smith, 2006:1).

Leslie (1949) het sy roterende luidspreker in 1949 patenteer. Dit is as 'n klank-effek deur musikante gebruik op verskillende instrumente, maar veral op HAMMOND orrels. Die kenmerkende klank van die LESLIE word veroorsaak deur 'n draaiende hoë-frekwensie horing en 'n roterende plaat wat die lae-frekwensie luidspreker se klank weerkaats, om 'n Doppler-effek te veroorsaak (Herrera *et al.*, 2009:1).

3.4 Stem

In die meeste populêre musiek is die stem van die hoofsanger die fokuspunt van 'n werk (Kim & Whitman, 2002:164). Die spraakorgaan beskik oor 'n meganisme om die lengte, gewig en spanning van die stembande te verander (Muckey, 1915:626). Die resonante vibrasies van die stembande word bepaal deur die tempo waarteen lug uit die longevan lug gelaat word. Die hierdie pulse dryf 'n ander resonante stelsel wat bestaan uit die luggyp vanaf die larinks na die mond, met verskeie modulaties wat veroorsaak word deur die sinusholte en die tong, tande en lippe. Saam wek hierdie stelsels 'n stel resonante op, bekend as formante, wat aan stemme individuele karaktereienskappe besorg (Olive & Toole, 1988). Frikatiewe klanke word gevorm deur 'n obstruksie êrens in die luggyp te vorm en lug daardeur te forseer om turbulensie te veroorsaak. Plosiewe klanke word gemaak deur druk agter die lippe op te bou en dit vinnig uit

⁸<http://www.fender.com>

⁹'n Kringfluit (Engels: *feedback*) is die skreeuende, huilende klank wat voorkom as 'n klankstelsel se uittree weer deur dieselde klankstelsel opgevang en versterk word (Butler, 1989:2).

¹⁰<http://www.ibanez.com>

¹¹Die IBANEZ *Tube Screamer* het 'n operasionele versterker gebruik om die klank van die vervorming van vakuumbuisversterkers te simuleer. Die *Tube Screamer* se suksesvolle simulatie het berus op die implimentering van 'n 1N914 knipper diode oor die terugvoerlus van die operasionele versterker. Die diodes het 'n gladde geknipte golfkruin tot gevolg gehad wat 'n warmer klank voortgebring het (Lamb & Kamalasadan, 2006).

te laat (Flanagan, 1972:1377). Vokale klanke word gevorm deur vervorming van die keel, mond en lippe om verskillende akoestiese resonansie- en frekwensie kombinasies tot gevolg te hê (Martin & Aarts, 2004b:20.9).

Die uitdaging vir klassieke sangers is om bo die klank van die orkes gehoor te word (Sundberg, 2001:176), maar in populêre musiek word die balans van die stem die verantwoordelikheid van die opname-tegnikus (Zangger Borch & Sundberg, 2002:31). In die laat 1920's en deur die 1930's het 'n nuwe styl van sang, genoem 'mikrofoonsang' in Amerikaanse populêre musiek ontwikkel (Lockheart, 2003:367). Die gebruik van die mikrofoon het sangers soos Bing Crosby in staat gestel om 'n nuwe sagter styl van sang te ontwikkel (Curtis, 1984:92). Die sagter styl van sang is deur baie as 'meer intiem' ervaar, selfs wanneer dit deur middel van opnames of radio-uitsendings teruggespeel is (Taylor, 2002:437).

3.5 Tromme en Simbale

Dit wat gereeld beskryf word as 'n 'kontemporêre klank' maak ekstensiewe gebruik van slaginstrumente (Rossing, 2001:177). Die standaard tromstel bestaan gewoonlik uit 'n bastrom, snaartrom, tussen een en vier *tom-toms*, 'n stel *high-hats*, asook 'n paar simbale (Ulano, 1975:85). 'n Tromstel is die kombinasie van die perkussie-instrumente wat mens sou aantref in 'n blaasorkes, maar wat aangepas is om een speler in staat te stel om alles gelyk te bespeel (Campbell & Brody, 2008:11).

Tromme word in drie kategorieë verdeel: die wat bestaan uit 'n enkele membraan en 'n geslote lugruimte (bv. *timpani* en *tabla*); die met 'n membraan gespan oor 'n oop houer (bv. *congas*); en die wat twee membrane beskik aan buide kante van 'n geslote lugruimte (bv. *snaartrom*) (Rossing *et al.*, 1992:84). Die kenmerkende klank van die snaartrom is afkomstig van 'n stel staalsnare wat oor die resonante vel (die onderkant) gespan is, en wat ratel as die slaanvel (boonste vel) geslaan word (Spencer, 2003:398). Die gespanne membraan van 'n trom word sterk beïnvloed deur die lading van die lug wat dit omring, asook die spanning van die membraan self. Die beweging van die tromvel is nie uniform oor die hele area nie (Streng, 1989:108).

Simbale is van die oudste musiekinstrumente in die wêreld en is vir eeue al aangewend in godsdienstige en militêre gebruik (Rossing, 2000:89). Dit word ook 'n paar keer in die Bybel genoem.¹² Moderne simbale word al vervaardig sedert 1618 toe Avedis Zildjian¹³ die brons allooï uitgevind het wat toegelaat het dat simbale dun en sterk gemaak kan word (Cohan, 1999:8) (Navin, 1949:196). Simbale wat gebruik word

¹²2 Samuel 6:5; Psalm 150:5; 1 Kronieke 13:8 ; 1 Kronieke 15:16; 1 Kronieke 15:19; 1 Kronieke 15:28; 1 Korintiërs 13:1

¹³<http://www.zildjian.com>

in orkesmusiek word verdeel in Franse, Weense, en Duitse groepe afhangende van die dikte daarvan, terwyl die verskillende simbale wat in populêre musiek gebruik word onderverdeel word in groepe van *crash*, *ride*, *hi-hats* en *splash* na aanleiding van die klank wat dit voortbring (Fletcher & Rossing, 1998:649).

Mikrofone

MIKROFONE is een van die elemente in opnames wat in basiese ontwerp baie min veranderinge ondergaan het in die laaste dekades (Wuttke, 1999:1). Die woord mikrofoon is die eerste keer gebruik in 1827 deur Sir Charles Wheatstone om 'n meganiese vibrasie stetoskoop te beskryf (Klapholz, 1988:15). In terme van elektro-akoestiese toestelle was David Edward Hughes die eerste persoon om die term *mikrofoon* te gebruik vir sy toestel (Frederick, 1931:7).

4.1 Mikrofone as Transduktore

4.1.1 Definisie van 'n Transduktor

Enige toestel wat fisiese energie na 'n elektriese impuls omskakel, of andersom, word gesien as 'n transduktor¹ (White, 1999:11). 'n Wyer siening is die idee van Kefauver (2001:45) dat 'n transduktor 'n toestel is wat in beweging geplaas word deur 'n krag vanaf een stelsel en gevolglik 'n krag voorsien aan 'n ander stelsel in dieselfde of 'n verskillende vorm.

'n Mikrofoon, word gedefiniër deur Nisbett as 'n toestel wat klank-energie in elektriese energie omskakel sonder om die klankinformasie drasties te verander.² Olson (1976:798) se definisie is dat die transduktor in 'n mikrofoon die verandering in beweging in die opwekkingselement, wat deur klankgolwe beweeg word, omskakel in 'n ooreenstemmende elektriese beweging. Volgens Davis & Jones (1989:113) hang die akkuraatheid waarteen die mikrofoon die elektriese weergawe van die

¹Voorbeelde van transduktore sluit onder andere in: Druk transduktore wat gebruik word in elektroniese skale; foto-transduktore wat gebruik word in ligsensors en digitale kameras; asook temperatuur transduktore wat gebruik word in termostate en termometers (White, 1999:11).

²Daar is wel transduktore wat nie aan hierdie definisie voldoen nie: Die Rayleigh Skyf skakel klank-energie om in meganiese wrinkrag (Sank, 1985:214).

akoestiese sein skep, tot 'n groot mate af van die metode waarop hierdie energie-omsetting gedoen word. Die proses van transduksie deur 'n mikrofoon word deur Borwick (1994:127) in die volgende twee stappe opgedeel, alhoewel dit op dieselfde tyd plaasvind: Eerstens word die diafragma meganies beweeg deur veranderinge in lugdruk deur klankgolwe veroorsaak, en tweedens word die vibrasies van die diafragma gebruik om 'n wisselstroom op te wek.

4.1.2 Basiese Vereistes van Mikrofone

Daar is volgens Willett (1998:1) twee hoof filosofieë met betrekking tot mikrofoonontwerp: Die een sê dat 'n mikrofoon soos 'n musiekinstrument is wat unieke karakter tot die musiek bydra, terwyl die ander filosofie mikrofone sien as 'n 'akoestiese venster' wat so deursigtig as moontlik moet wees. Nisbett (1974:129) beskryf 'n mikrofoon in die mees basiese terme as 'n toestel wat vir normale klankseine 'n elektriese sein genereer bo die eieruis³ van die mikrofoon, nie vervormde seine lewer teen normale klankdrukvlakke nie, en dit moet gelyk reageer teenoor alle frekwensies in die spektrum. Bartlett (1987:924) het die bostaande lys uitgebrei deur die belang te beklemtoon van 'n mikrofoon om elektriese en radio interferensie te verwerp, nie sensitief te wees vir windruis en plosiewe klanke nie, en moet oor 'n gelyke frekwensie-oordrag beskik vir klanke wat die mikrofoon vanaf verskillende hoeke bereik. Willett (1998:1) se vereistes vir 'n mikrofoon vir opnames is 'n wye frekwensiereik, gelyke frekwensie-oordrag, frekwensie-onafhanklike poolpatroon, lae vlakke van ruis en vervorming, 'n wye dinamiese reik, en 'n hoë sensitiwiteit.

4.1.3 Oorsig oor die Komponente van 'n Mikrofoon

Talbot-Smith (1999:2.37) verdeel 'n mikrofoon in drie komponente: Die diafragma, a dun, ligte membraan wat beweeg op die impuls van die veranderinge in die klankgolf se druk, die transduktor wat 'n elektriese impuls opwek op grond van die beweging van die diafragma⁴, en die dop waarin die diafragma en transduktor gehuisves word, wat die gerigtheidseienskappe van die mikrofoon beïnvloed.

³Engels: *Self-noise*

⁴In meeste gevalle is die diafragma ook 'n integrale deel van die transduktor, aangesien die diafragma in baie gevalle hierdie funksie van transduksie vervul.

4.2 Meganiese en Vloeistof Mikrofone

Thomas Edison het die fonograaf uitgevind in 1877, wat berus het op 'n akoesties-meganiese oordrag van klank na 'n bergingsmedium.⁵ Die klankbron word deur 'n horing opgetel, en word gefokus op die diafragma, wat gekoppel is aan die snynaald. 'n Was silinder word gedraai en die naald sny 'n groef in die silinder, gemoduleer deur die drukveranderinge wat die klankbron op die diafragma veroorsaak (Olson, 1977:676). Emile Berliner het die akoesties-meganiese stelsel aangepas en het die klank ge-ets op 'n ronde metaal plaat wat bedek is met 'n suurbestand materiaal, waarin die snynaald dan 'n groef gesny het (Hutto, 1977:666).

Alexander Graham Bell (1881:314) het gepoog om Wheatstone se stetoskoop te verbeter en het in 1876 'n mikrofoon ontwerp wat berus het op 'n koolstofstaaf wat vertikaal gehang het in swaelsuur, en die weerstand van 'n wisselstroom beïnvloed het. Hierdie vloeistofmikrofoon het 'n diafragma van skaapvel gehad en is later laat vaar vir 'n magnetiese ontwerp Hoffmann & Ferstler (2005:684). Later in dieselfde jaar het Bell (1876) die telefoon gepatenteer wat gebruik gemaak het van 'n bewegende draadanker⁶ sender en ontvanger wat in staat was tot twee-rigting kommunikasie. Later in dieselfde jaar het Bell sy vloeistof sender by die Filadelfia Skou ten toon gestel. Dit het gebruik gemaak van die veranderlike kontak prinsiep, en het 'n baie meer suksesvolle metode van elektriese seinmodulasie gebied as die draadanker ontwerp (Eargle, 2001:2). Die veranderlike kontak beginsel is verder ontwikkel deur Berliner (1877) se patent waar 'n staal bal teen 'n gespanne metaal diafragma geplaas is.

4.3 Koolstof Mikrofone

Hughes se mikrofoon wat 'n koolstofstaaf gebruik het, was 'n groot stap in die rigting van koolstofkorrel mikrofone. Sy mikrofoon het bestaan uit 'n hout diafragma, wat as dit effens gebuig word deur klankgolwe, 'n redelike groot verandering in die kontakweerstand tussen die koolstofstaaf en monteringspunte teweeggebring het (Frederick, 1931:10). Bell, Berliner en Hughes se idees is verder ontwikkel deur Blake (1881) se patent wat 'n koolstofskyf en platinum kontak gebruik het. Eargle (2001:3) skryf die uitvinding van die los koolstofkorrel mikrofoon aan Blake toe, maar volgens Bauer (1987:248) is dit deur Thomas Edison uitgevind. Edison (1889) se Amerikaanse patent is egter elf jaar ouer as die Britse

⁵Volgens Clark (1993:3) was die eerste storingsmedium wat gebruik is tinfoelie wat rondom 'n silinder gedraai is waarop 'n naald dan 'n indruk gemaak het.

⁶Engels: *Armature*

Patent van Henry Hunnings (1878), wat volgens Frederick (1931:10) en Olson (1980:776) die ware uitvinder was.

Die koolstofmikrofoon funksioneer op die beginsel van 'n veranderlike resistor, waar die klankvibrasies wisselende druk van die diafragma teen die koolstofkorrels veroorsaak, wat lei tot verandering in weerstand. Hierdie veranderlike weerstand word gebruik om die elektriese stroom te reguleer (Colwell & Fullmer, 1931:204). Die diafragma is gewoonlik vervaardig van aluminiumalloy en die koolstofkorrels van antrasiet (Sank, 1985:514). Sodra die diafragma deur klankgolwe beweeg word, wissel die hoeveelheid kontak tussen die koolstof en die diafragma, wat 'n wisseling in stroom tot gevolg het. Dit word die 'direkte effek' genoem omdat die klankgolwe 'n verandering in weerstand teweegbring (Cook, 1995:3). 'n Gelykstroom word deur die koolstof gestuur maar 'n transformator het tot gevolg dat slegs die wisselende deel van die stroom na die versterker gestuur word (Clark, 1938:80).

Die nadele van hierdie tipe mikrofoon sluit in 'n hoë ruisvloer as gevolg van termiese ruis⁷, asook wisselinge in kontakweerstand tussen die koolstofkorrels, selfs in die afwesigheid van 'n klankbron, en 'n beperkte frekwensie-bandwydte. Te midde van die bogenoemde tekortkominge, was dit volgens Davis & Jones (1989:115) baie gewild as gevolg van die duursaamheid van die ontwerp, asook die relatiewe lae vervaardigingskoste. Koolstof mikrofone is na bykans 'n honderd jaar as die standaard mikrofoon in telefonie vervang deur bewegende spoel dinamiese mikrofone.

4.4 Kapasitor Mikrofone

Die groei van die radio- en film industrie na die Eerste Wêreldoorlog het volgens Clark (1993:8) 'n vraag laat ontstaan na meer effektiewe mikrofone.⁸ Volgens Bauer (1987:250) het Edison en Dolbear (1881) reeds aan die einde van die 19^{de} eeu die idee van 'n elektrostatische transduktor voorgestel. E.C.Wente (1917:39) was egter verantwoordelik vir die eerste praktiese implimentering daarvan, en het in 1917 'n artikel gepubliseer waarin hy 'n kapasitor element beskryf het as 'n instrument om absolute metings van klank-intensiteit te neem. Die oorspronklike ontwerp het 'n staal diafragma gebruik en die ongedempte resonansie frekwensie was 17kHz. Teen laer frekwensies was die frekwensie-oordrag uniform, en aangesien die meeste akoestiese informasie laer as die resonansie lê, sou

⁷Johnson (1928:97) het die verband tussen die temperatuur van 'n resistor en termiese ruis waargeneem. Nyquist (1928:110) het daarop daarin geslaag om termiese ruis kwantitatief en akkuraat te beskryf.

⁸Koolstof mikrofone was uiters geskik vir telefoniese toepassings, maar die beperkte frekwensie-bandwydte het dit ongeskik gemaak vir musiek (Clark, 1993: 8).

dit getrou weergegee word (Hawley *et al.*, 1995:8). Crandall (1918:449) het 'n lug-damping van die diafragma voorgestel wat sou berus op die sny van groewe, of 'n perforasie van die rugplaat. Wente het verskeie verbeteringe aan sy eie oorspronklike model aangebring, onder andere die vervanging van die staal diafragma met aluminiumalloor (Hawley *et al.*, 1995:10).

Die eerste kommersiële kapasitor mikrofone, die WESTERN ELECTRIC 394 en die RCA 11A is vervaardig in die 1920's. Later is kleiner kapsules vervaardig om die diffraksie effek van groot-diafragma kapasitor mikrofone te voorkom (Olson, 1976:800). In Europa het TELEFUNKEN ook begin mikrofone vervaardig in 1923 (Hoffmann & Ferstler, 2005:684). In Duitsland het Georg Neumann in 1927 sy eie maatskappy gestig en gefokus op kapasitor mikrofone.⁹ Plastiekfilm met 'n dikte van 'n paar mikron was nie beskikbaar nie, en Neumann het diafragmas self vervaardig deur hars in alkohol op te los, en te platteer met goud (Weiss, 1993:7). Massa-produksie is op 'n later stadium toegelaat deur die ontwikkeling van termoplastiese materiale (Werner, 2002:3). Die NEUMANN U47¹⁰ is in 1949 bekendgestel, en bemark in Amerika onder die TELEFUNKEN handelsmerk (White, 2006a:76). Die klassieke kapasitor mikrofoon ontwerp is volgens Werner (2002:1) steeds die gewildste transduktor in professionele opname toepassings.

Die kapasitor mikrofoon se benaming is afgelei van die feit dat die werking daarvan berus op die variasie in kapasitansie¹¹ tussen twee plate. Die een plaat, die diafragma, is beweeglik en die ander plaat is staties, en saam vord dit 'n veranderlike element. (Clark, 1938:81) 'n Gelykstroom spanning word aan beide elektrodes (diafragma en rugplaat) gestuur. Soos die diafragma elektrode vibreer verander die kapasitansie en genereer 'n wisselstroom sein (Hoffmann & Ferstler, 2005:683). Die uittreesein van 'n kapasitor mikrofoon kan bereken word deur die vergelyking:

$$\Delta V = \Delta C \left(-\frac{V}{C} \right) \quad (4.4.1)$$

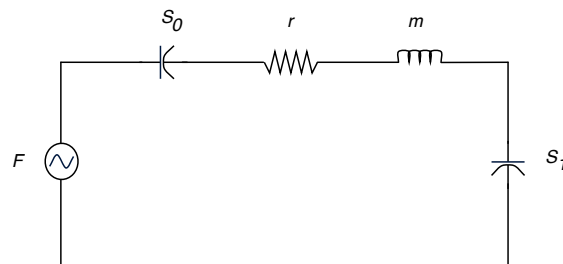
waar Δ die spanning oor die kapasitor is, ΔV die uittreesein, C die kapasitansie tussen die diafragma en rugplaat in Farad, en ΔC die verandering in kapasitansie veroorsaak deur beweging van die diafragma (Bartlett, 1987:926). Die diafragma word gewoonlik vervaardig van 'n

⁹Neumann het op hierdie stadium reeds baie ervaring gehad in die vervaardiging van mikrofone en was verantwoordelik vir die uitvinding van die Reisz mikrofoon, 'n koolstof ontwerp met merkwaardige goeie frekwensie-oordrag (Weiss, 1993:6).

¹⁰Sien Bauch (1953) se beskrywing van die U47 kapsule en kragbron, asook die verskille tussen die U47 en die vlagskip M49.

¹¹'n Kapasitor is 'n passiewe toestel wat elektriese lading kan stoor. Dit raak nie van energie ontslae soos 'n resistor nie, maar kan dit op enige gegewe oomblik aan die stroom terugbesorg (Boylestad, 2003:375). Die naam 'kondensator' wat vir mikrofone gebruik word is die voormalige naam van 'n kapasitor (Huber & Runstein, 1997:96).

goud-geplateerde plastiek film en die rugplaat van goud-geplateerde keramiek (Davis & Jones, 1989:113). Aangesien die elektro-akoestiese sensitiwiteit omgekeerd-eweredig is aan die afstand tussen die diafragma en die rugplaat is dit van uiterste belang dat dit konstant bly tydens temperatuurverskille wat die elemente laat uitsit of krimp (Sank, 1985:516). 'n Versameling van geperforeerde gate in die rugplaat verlaag die lugweerstand teen die diafragma. Die gevolg hiervan is 'n meer uniforme frekwensie-oordrag en 'n vermindering van meganiese- en termiese ruis (Tan & Miao, 2009:3641). 'n Vereenvoudigde ekwivalente stroombaanvoorstelling kan as volg uitgedruk word:



Figuur 4.1: Ekwivalente stroombaanvoorstelling van 'n kapasitor mikrofoon

waar F die krag op die diafragma is, S_0 die styfheid van die diafragma, S_1 die styfheid van die rugruimte, r die meganiese weerstand, en m die massa (Ono *et al.*, 2008:373).

Kapasitor mikrofone word al vir meer as sewentig jaar gebruik in professionele opnametoepassings as gevolg van die akkurate frekwensie-oordrag en groot dinamiese reik (Peus, 2004:2). As gevolg van die lae massa van die diafragma en hoë dempingsfaktor reageer kapasitor mikrofone gevoelig op akoestiese impulse en het 'n klank tot gevolg wat baie gewens is in opnames (Bartlett, 1987:926).¹²

4.4.1 Radiofrekwensie (RF) Modulasie Kapasitor Mikrofone

'n Radiofrekwensie-gemoduleerde mikrofoon is 'n kapasitor mikrofoon wat verbind word aan 'n radiofrekwensie ossillator.¹³ Klankgolwe wat die

¹²Dit is belangrik om kennis te neem dat 'n misopvatting bestaan dat kapasitor mikrofone beter resultate toon in die tydsgesied as enige ander ontwerp as gevolg van die ligte diafragma, maar die massa van lug wat aan die diafragma koppel moet in berekening gehou word (Langen, 2007:2).

¹³RF ossillatore is in die 1920's ontwikkel met die doel om akkurate radio toets-seine te ontwikkel (Kingsford-Smith, 2006:16-1). Vanaf die 1960's is kwarts ossillatore

diafragma tref moduleer die ossillator. SCHOEPS¹⁴ en SENNHEISER¹⁵ maak van hierdie beginsel gebruik (Dove, 2002:412). In die geval van SENNHEISER se ontwerp word die gelykstroom spanning oor die kapsule vervang deur 'n hoë draerfrekwensie rondom 8MHz wat deur 'n ossillator voorsien word. Die diafragma moduleer die draerfrekwensie en die klank word onttrek deur 'n stroombaan in die mikrofoon (White, 1999:27). As gevolg van die lae kapasitansie in tradisionele kapasitor mikrofoon kapsules en die hoë intree impedansie van voorversterkers wat dit vereis, kan humiditeit die werking van die mikrofoon nadelig beïnvloed op die gebiede van sensitiwiteit, vervorming en ruis. RF mikrofone ervaar egter as gevolg van die ontwerp nie die bogenoemde probleme nie (Müller & Holstein, 2004:1).



Figuur 4.2: SENNHEISER MKH 8040

4.4.2 Digitale Mikrofone

Die eerste patent vir 'n digitale mikrofoon is uitgeneem deur Paul *et al.* (1991). Bydraes is ook gemaak deur Yasuno & Riko (1999) wat verantwoordelik was vir van die eerste werkende prototipes. Dit berus daarop dat die uittreesein van die kapsule direk omgeskakel word na 'n digitale

gebruik. Die vooruitgang van halfgeleier tegnologie het tot gevolg gehad dat die sensitiewe kwarts met 'n LC (induksie-kapasitansie) stroombaan vervang kon word om die ontwerp meer duursaam te maak (Peus, 2004:7). Moderne ontwerpe maak meestal staat op klas A, sinusgolf-uitree ossillatore (Harrold *et al.*, 2004:11-14). Die mees onlangse ontwikkeling is die gebruik van digitale sintiseerders om 'n frekwensie op te wek (Kingsford-Smith, 2006:16-1).

¹⁴<http://www.schoeps.de>

¹⁵<http://www.sennheiser.com>

formaat (Müller & Holstein, 2004:1).¹⁶ Die digitale formaat word gespesifiseer deur die AES42-2006 standaard. 'n Standaard XLR-kabel word gebruik met 'n AES3¹⁷ sender aan die kant van die mikrofoon en 'n AES ontvanger aan die ander kant. 'n PCM¹⁸ sein tot 'n monstertempo van 192kHz is moontlik in die huidige tegnologie soos die geïntegreerde stroombane wat deur CIRRUS LOGIC¹⁹ vervaardig word (Harris *et al.*, 1999). Die voordele van digitale mikrofone is dat die totale dinamiese reik, ongeveer 130dB_A van die kapsule gedigitaliseer kan word en word slegs beperk deur die fisiese beperkings van die kapsule, dus is daar geen aanwins vlakke wat hoef gestel te word soos in analoog mikrofoon voorversterkers nie (Schneider, 2007) (Peus, 2001).

4.4.3 Dubbel-element Kapasitor Mikrofone

Verskeie tipes dubbel-element mikrofone is kommersiëel beskikbaar: Die SANKEN²⁰ CU-41 maak gebruik van twee kapsules wat vertikaal gerangskik is met 'n kruisfrekwensie van 1kHz. Hierdie ontwerp met diafragmas van titanium kombineer die beste eienskappe van groot- en klein-diafragma mikrofone in een mikrofoon (Mizoguchi *et al.*, 1987:2). SENNHEISER gebruik 'n dubbel-element in die MKH reeks mikrofone. Hierdie ontwerp het een diafragma wat tussen twee rugplate geplaas is in 'n druk-trek konfigurasie. Die voordeel van hierdie ontwerp is 'n wyer frekwensie bandwydte, hoër dinamiese reik, laer persentasie harmoniese vervorming, en meer stabiele impedansie teen verskillende frekwensies as tradisionele ontwerpe (Willett, 1998:4). JOSEPHSON²¹ se C700 mikrofoon bevat twee kapsules wat aparte uittreeseine lewer sodat die opname-tegnikus later beheer kan uitoefen oor die poolpatroon (SRS7UG).

¹⁶Analoog-na-Digitale omsetting is 'n proses waar 'n aanhoudende reeks van analoë seine omgeskakel word na digitale waardes. Hierdie omskakeling stel analoë stelsels in staat om te koppel met digitale stelsels vir storing, prosessering, manipulasie, en versending van die analoë waardes (Garrod *et al.*, 2002:6-5) (Corcoran, 2000:6.1).

¹⁷Die AES3 (voormalig AES/EBU) standaard vir digitale klank oor standaard mikrofoonkabels is in 1985 gepubliseer (Gross, 2010:62).

¹⁸*Pulse Code Modulation* is in 1937 uitgevind deur die Britse tegnikus Alec Reeves (1942) terwyl hy werksaam was by die *International Telephone and Telegraph Company*. Reeves het voorgestel dat 'n sein gemonster word teen gelyke intervale en die analoë waarde van elke sein binêr uitgedruk word en as aan-af pulse versend word (Immink, 2010:73).

¹⁹<http://www.cirrus.com/en/>

²⁰<http://www.sanken-mic.com>

²¹<http://www.josephson.com/>

4.5 Elektret Kapasitor Mikrofone

'n Elektret is 'n materiaal wat permanent elektries gepolariseer is en dit word nie deur 'n eksterne elektriese veld beïnvloed nie (Wintle, 1973:1578). Die term elektret word toegeskryf aan Heaviside (1885:230). Die elektret-verskynsel is deur M. Eguchi in 1919 ontdek terwyl hy sekere elektriese eienskappe van was en hars ondersoek het (Kubota, 1976:1). Praktiese implimenterings is vertraag deur die onbeskikbaarheid van materiale wat in staat was om die polarisasie stroom te behou teen hoë temperature en humiditeit (Boré & Peus, 1999:39). Die eerste modelle wat van 1938–1940 kommersiëel vervaardig is deur Bogen, het permanent gepolariseerde wasplate gebruik, maar was nie baie gewild nie as gevolg van onstabieleit en lae kapasitansie (Klapholz, 1988:16).

Sessler & West (1962:1787) van Bell Labrotoriums het in 1960 'n elektret mikrofoon ontwikkel. Die probleme van vroeër ontwerpe waar elektret mikrofone sensitiwiteit oor tyd verloor is oorkom deur 'n permanent gepolariseerde materiaal tussen die diafragma en die rugplaat te plaas (Eargle, 2001:5). Later is die diafragma en die elektret gekombineer deur 'n fluoro-koolstof film aan die een kant te platteer (Killion & Carlson, 1974:238). Die film word deur middel van 'n vakuum sputter proses met aluminium, goud of nikkel geplaatteer. Die dikte van die metaal neerslag is ongeveer 500Å (50nm). Die film word volgende verhit en gelaai met 'n hoë wisselstroom potensiaal (Kubota, 1976:1). Die permanente lading van die elektret element word gewoonlik verkry deur die diafragma, of rugplaat, te bestraal met 'n elektronstraal (Davis & Jones, 1989:114).

Die elektret foelie word gekies as 'n kompromis tussen goeie elektret eienskappe en die meganiese vereistes van 'n diafragma. Polimere soos poliakrielonitriël, polikarbonaat en sommige fluoriediese harse is voorbeelde van geskikte plastiese films vir elektret diafragmas (Sank, 1985:517). Killion & Carlson (1974:238) beklemtoon dat hierdie materiale 'n goeie middeweg is en nie noodwendig die beste diafragma materiaal is nie as gevolg van die hoë digtheid, lae sterkte en termiese uitsetting. 'n Verbeterde ontwerp van die elektret berus op die beginsel om die rugplaat te polariseer en nie die diafragma nie. In hierdie toepassing word die diafragma gewoonlik vervaardig van Mylar^{®22} met 'n dikte van 5µm, 'n ideale materiaal en dikte volgens Sank (1985:517), vir 'n mikrofoondiafragma. Die elektret word vervaardig van Teflon^{®23}, met 'n minimum

²²DUPONT Mylar[®] is 'n sterk poliëster film wat in die vroeë 1950's ontwikkel is. Mylar[®] se sterkte, hitte-bestandheid en elektriese isolasie eienskappe het dit 'n gewilde materiaal gemaak in die vervaardiging van magnetiese band, kapasitore en as verpakingsfilm (Hounshell & Smith, 1988:499).

²³Roy Plunkett (1881) van KINETIC CHEMICALS, 'n vennootskap tussen DUPONT en GENERAL MOTORS, het Teflon[®] in 1939 gepatenteer. Dit is aanvanklik gebruik vir die isolasie van kables in straalenjins, ruimtetuie, en rekenaars, en is later gebruik in kook-

dikte van $25\mu\text{m}$ om 'n stabiele elektret te vorm en word teen die rugplaat geplaas. Die voordele van hierdie ontwerp is dat die diafragma nie as die elektret funksioneer nie, en beter materiale daarvoor aangewend kan word (Sank, 1985:517).

Die eerste suksesvolle kommersiële elektret mikrofoon is in 1968 deur SONY²⁴ bekendgestel en dit is gevolg deur verskeie ander vervaardigers (Klapholz, 1988:16). Die elektret ontwerp vereis nie 'n eksterne kragbron nie as gevolg van die permanente elektrostatiese lading, maar benodig wel 'n versterker wat die hoë impedansie verlaag. Hierdie versterker benodig 'n battery of skimkrag²⁵ as kragbron (Huber & Runstein, 1997:102).

4.6 Bewegende Spoel Mikrofone

Die verband tussen magnetisme en elektrisiteit is in 1820 deur die Deense fisikus, Hans Christian Ørsted, ontdek toe hy waargeneem het dat 'n kompasnaald beïnvloed word naby 'n stroomdraende geleier. Wetenskaplikes soos Faraday, Gauss en Maxwell het in die daaropvolgende jare die basiese konsepte verken wat vandag bekend staan as elektromagnetisme (Boylestad, 2003:435). Een van die eenvoudigste, dog mees effektiewe toepassing van elektromagnetiese induksie is die bewegende spoel mikrofoon. Baanbrekerswerk in hierdie veld is gedoen deur Cuttris & Redding (1881) en Siemens, alhoewel die eerste praktiese ontwerp toegeskryf word aan Wenthe en Thuras (Bauer, 1987:251). Wenthe & Thuras (1931:48) se ontwerp is gebaseer op dieselfde beginsels as Wenthe (1929) se patent vir 'n bewegende spoel luidspreker.

Hierdie mikrofoon berus op die beginsel dat wanneer 'n elektrisiteitsgeleidende metaal deur 'n magnetiese veld beweeg word daar 'n elektriese stroom opgewek word met 'n spesifieke sterkte en rigting (Huber & Runstein, 1997:96). In praktyk word dit vermag deur 'n spoel te heg aan 'n diafragma, en wanneer die diafragma beweeg word deur klankgolwe, beweeg die spoel deur die magnetiese veld (Clark, 1938:86). Die vergelyking om die uittreesein van 'n dinamiese mikrofoon te bereken is:

$$e = Blv \quad (4.6.1)$$

ware en tekstiele (Chandler, 2005:47).

²⁴<http://www.sony.com/professional>

²⁵IEC 61938 (1996) beskryf die standaard van skimkrag. 'n Positiewe 48V gelykstroom word gestuur op beide seinkontakke (pen 2 en 3) van 'n gebalanseerde lyn. Die negatiewe stroom word op die grond (pen 1) gestuur. Aangesien die seindraende geleiers beide dieselfde stroom dra het dit geen invloed op die voorversterker nie (Somers, 1994:1).

waar e die uittreesein is, B die magnetiese vloeddigtheid in tesla, l die lengte van die geleier in meter, en v die spoed in meter per sekond. (Bartlett, 1987:927)

Die eeste kommersiële hoë-kwaliteit dinamiese mikrofoon was die WESTERN ELECTRIC 618-A wat in die laat 1920's ontwikkel is. (Jones & Giles, 1931:977) In hierdie tyd het verskeie kleiner Amerikaanse maatskappye soos SHURE²⁶ en ELECTRO-VOICE²⁷ begin om mikrofone te vervaardig. Die kommersiële vervaardiging van kapasitor mikrofone is gekniehalter deur die vereiste van 'n polariserende kragtoevoer, en daarom het hierdie maatskappye begin fokus op alternatiewe ontwerpe soos die bewegende-spoel mikrofoon (Eargle, 2001:5). Bauer (1941:41) van SHURE het in 1941 sy gerigte enkel bewegende-spoel ontwerp bekendgestel, wat steeds die basis vorm vir hedendaagse ontwerpe.

Wente & Thuras (1931:44) wat verantwoordelik was vir die eerste praktiese bewegende-spoel ontwerp het die belangrikste voordele van die ontwerp gesien as die gelykheid van die impedansie regdeur 'n groot frekwensie-reik, asook die afwesigheid van nie-liniêre vervorming oor 'n groot amplitude-reik. Bewegende-spoel mikrofone is baie gewild in lewendige klankversterking as gevolg van die duursaamheid en goeie klankkwaliteit (Owsinski, 2005).

4.7 Lintmikrofone

Die lintmikrofoon is ontwikkel deur Gerlach en Schottky, en berus op die elektrodinamiese beginsel waar die elektriese geleier ook die diafragma is (Weiss, 1993:4). Die idee is gebruik deur Olson om 'n drukgradiënt mikrofoon te ontwikkel (Bauer, 1987:248). Volgens Klapholz (1988:16) het Anderson, Weinberger, en Massa 'n ewe belangrike rol gespeel in die ontwikkeling van lint mikrofone. Dié mikrofone het gewildheid verwerf in radio en film as gevolg van die gerigtheidseienskappe daarvan (Clark, 1993:8). Olson (1970:263) het dit beskryf as "*the first wide-frequency-range and high-quality microphone which exhibited a uniform directivity pattern over the entire audio frequency range*". Vroeë Lint mikrofone was fisies relatief groot, genoodsaak deur die magnetiese strukture en transformatore van die tyd. Hierdie mikrofone het baie goed gewerk in radio uitsendings, maar dit is vervang deur kleiner mikrofoontipes met die koms van televisie (Owsinski, 2005:5).

Die lintmikrofoon beskik gewoonlik oor 'n diafragma van aluminium met 'n $2\mu\text{m}$ dikte (Huber & Runstein, 1997:95). Aluminium is gewild aangesien dit 'n uiters lae weestand kombineer met 'n lae digtheid (Shorter, 1995). Die diafragma word gewoonlik transversaal geriffel vir struktuele

²⁶<http://www.shure.com>

²⁷<http://www.electrovoice.com>

sterkte en buigsaamheid (Woram, 1982:75). Die lint word teen 'n baie lae spanning tussen twee magnete gehang en die vibrasies van die lint in die magnetiese veld genereer deur middel van induksie 'n stroom (Clark, 1938:86). Die uittreesein van 'n lintmikrofoon is relatief laag in vergelyking met ander ontwerpe aangesien die lintmikrofoon slegs 'n enkel lae impedansie geleier (die lint) het om 'n elektriese sein op te wek (Bartlett, 1987:927). Die uittree impedansie van 'n lint mikrofoon is baie laag en benodig 'n uittreetransformator om die uittreesein na 'n bruikbare waarde te verhoog (Woram, 1982:76). Lintmikrofone beskik gewoonlik oor 'n sogenaamde 'warm' klank met 'n uiters goeie oorgangsverskynsel en baie lae eieruis (Davis & Jones, 1989:114).



Figuur 4.3: ROYER R121 Lint Mikrofoon

Die perk van die hoë-frekwensie-oordrag van 'n lintmikrofoon word bepaal deur die grootte van die magnete en struktuur rondom die lint. 'n Liniêre weergawe kan teoreties verkry word tot op 'n golflengte wat gelyk is aan die afstand tussen die voor- en agterkant van die lint (Madsen, 1957:84). Die lint van die mikrofoon word ligweg gespan en is liniêr bo resonansie (Dooley, 2008:58).²⁸ Die spanning van die lint is so laag dat die beweging slegs beperk word deur die massa van die lint volgens die vergelyking:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = A \frac{dp}{dx} \Delta \quad (4.7.1)$$

waar p die akoestiese druk is, x die verplasing, m die massa van die lint, A die area van die lint, en Δ die lengte van die akoestiese pad tussen die twee oppervlakke van die lint. Aangesien $dp/dx = \rho dv/dt$ vir 'n klankgolf lei 'n eenvoudige integrasie van vergelyking 4.7.1 tot:

$$\frac{dx}{dt} = \left(\frac{A \Delta \rho}{m} \right) v \quad (4.7.2)$$

²⁸Dit is die teenoorgestelde van kapasitor mikrofone waar die diafragma styf gespan word en die frekwensie-oordrag onder die resonansie liniêr is (Dooley, 2008:58).

en die gang van die lint volg die partikelgang in die klankgolf tot ten minste waar Δ gelyk is aan een kwart van die golflengte (Rossing & Fletcher, 2004:241).

4.8 Mikrofoongerigtheid

Mikrofoongerigtheid is 'n aanduiding van hoe sensitief 'n mikrofoon is vir klanke uit verskillende rigtings. Dit word gewoonlik beskryf in hoeke waar 0° direk van voor is, 90° vanaf die kant, en 180° van agter (Braasch, 2005b:3). Wanneer die poolpatroon van 'n mikrofoon gemeet word, word dit gewoonlik in 'n platvlak klankveld gedoen, terwyl klankbronne in die praktyk in meeste gevalle sferies is, en dit 'n merkbare invloed het op die gerigtheid van die mikrofoon (Milanov & Milanova, 2002:1).

4.8.1 Druk transduktore

In 'n drukmikrofoon beweeg die diafragma in en uit soos die lugdruk wissel tussen toestande van hoër en laer as normale atmosferiese druk (Borwick, 1994:128). Vir alle praktiese doeleindes is 'n drukmikrofoon 'n diafragma wat gespan is oor 'n geseëde ruimte, waarvan die lugdruk konstant bly, wat veroorsaak dat klank vanuit enige rigting die diafragma beweeg (Streicher & Dooley, 2003:212).

In die praktyk moet daar egter 'n vorm van ventilasie wees wat kan kompenseer vir die verskille in lugdruk, anders is die mikrofoon 'n barometer (White, 1999:13). Holman (1997:69) vergelyk hierdie ventilasie met die buis van Eustagius in die oor wat verantwoordelik is daarvoor om die lugdruk aan beide kante van die oortrom te ewenaar. Volgens Talbot-Smith & Woolf (1999:2.40) is hierdie opening nie groot genoeg vir klankgolwe om die agterkant van die diafragma te beïnvloed nie.

Die poolpatroon is alomgerig²⁹ aangesien klankdruk 'n skalare kwantiteit is wat oor krag beskik, maar nie oor rigting nie (fig. 4.4) (Sank, 1985:514). Wiskundig word dit uitgedruk as $p = 1$. In die praktyk het die fisiese grootte van die mikrofoon egter 'n invloed op hoër frekwensies.³⁰ Hoër frekwensies word weerkaats, wat tot gevolg het dat klank van agter verminder word. (Borwick, 1994:128) Frekwensies met 'n golflengte korter as die diameter van die mikrofoon, is volgens Talbot-Smith & Woolf

²⁹Engels: *Omnidirectional*

³⁰Korter golflengtes. Bereken die golflengte (λ) deur

$$\lambda = \frac{\text{spoed van klank in m.s}^{-1}}{\text{frekwensie in Hz}} \quad (4.8.1)$$

(1999:2.40) geneig tot destruktiewe interferensie.³¹ White (1999:14) het uitgewys dat, in teorie, 'n mikrofoon oneindig klein moet om geen weerkaatsing te veroorsaak nie, wat prakties nie moontlik is nie.

Die druk transduktor is soortgelyk aan die menslike oor, wat alomgerig is, en waar die kop ook 'n soortgelyke obstruksie is vir hoër frekwensies (Kefauver, 2001:59).³²

4.8.2 Drukgradiënt Transduktore

Soos alle mikrofone meet 'n drukgradiënt transduktor die verskil in lugdruk aan beide kante van die diafragma, maar anders as die drukmikrofoon is beide kante van die diafragma blootgestel aan die klankveld (Amyes, 1998:71). Hierdie ontwerp beskik oor gelyke sensitiwiteit teenoor klank wat van voor of agter aankom³³, alhoewel die elektriese sein wat opgewek word teenoorgestelde polariteit besit afhange van die rigting van oorsprong (Streicher & Dooley, 2003:214). Olson (1979:159) noem die stroom van teenoorgestelde polariteit 'antifase energie'.

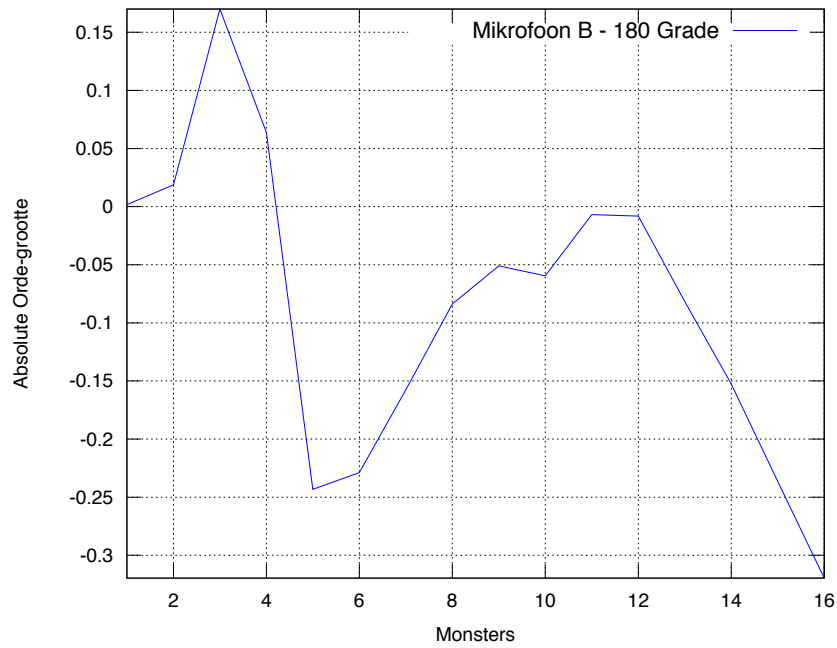
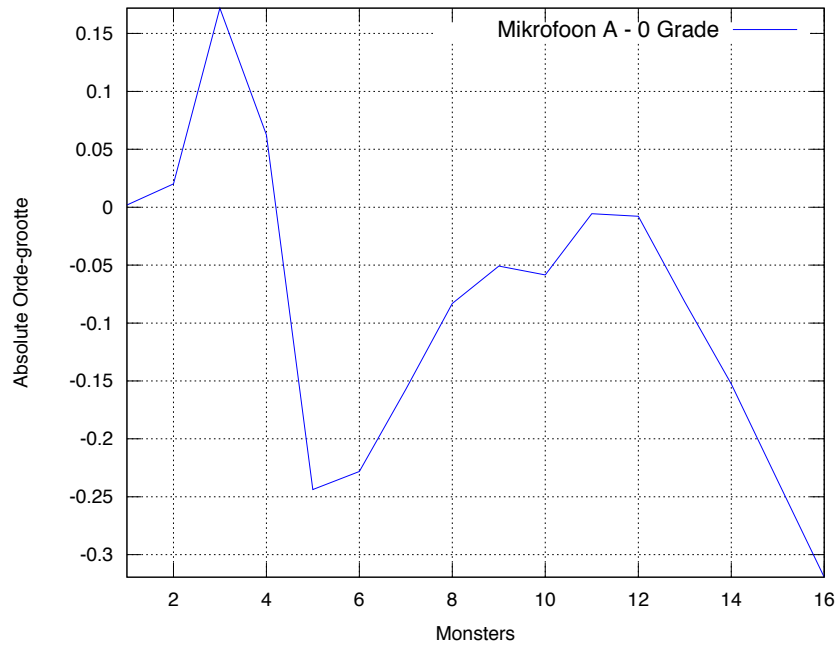
Die naam van dié tipe mikrofoon is afkomstig van die feit dat dit die drukgradiënt van klank relatief tot die as van die mikrofoon meet. Dus is die mikrofoon sensitief vir die rigting waarin die klank beweeg. (Tashev, 2009:71) Die poolpatroon van 'n bingerigte³⁴ mikrofoon word uitgedruk as $p = \cos\theta$, waar θ die hoek van die klank is waarteen dit die mikrofoon nader. Aangesien dit beide orde grootte en rigting aandui is dit 'n vektorfunksie (Streicher & Dooley, 2003:214). Teen 'n hoek van 90° en 270° is daar geen verskil in lugdruk tussen die twee kante van die diafragma nie wat veroorsaak dat die poolpatroon in die vorm van 'n agt voorkom (Brice, 2001:42). Waar 'n drukmikrofoon 'n akoestiese monopool is vorm 'n drukgradiënt mikrofoon 'n akoestiese dipool (Tashev, 2009:71).

³¹'n Volledige golflengte oor die diafragma gaan 'n lae uittreesein tot gevolg hê as gevolg van die hoëdruk en laagdruk areas wat mekaar uitkanselleer. Sien Talbot-Smith & Woolf (1999:2.40)

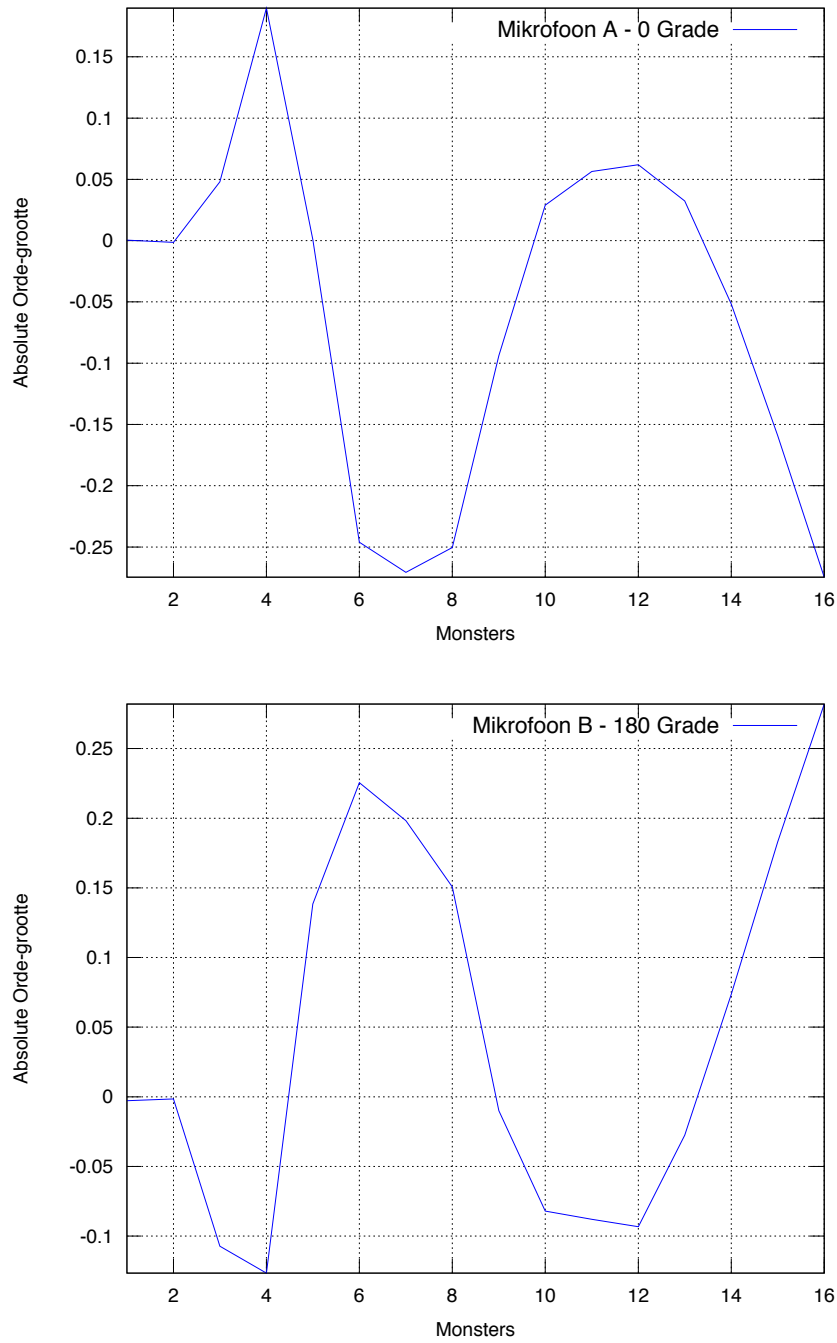
³²Die vermoë van die mens om die oorsprong van 'n klankbron te bepaal, wat gesien kan word as 'n tipe gerigte gehoor, is 'n psigo-akoestieke funksie wat berus op die brein om verskille tussen tyd, frekwensie en amplitude aan te wend om klank te lokaliseer. Sien Shephard (2001:21).

³³Moderne ontwerpe soos die ROYER R121 voldoen nie volledig aan hierdie vereiste nie aangesien daar 'n effense verskil is in frekwensie-oordrag op die teenoorstaande asse. Dit word veroorsaak deur die feit dat die lint nie in die middel van die magnetiese pole geplaas nie. Volgens die patent van Royer & Perrotta (2002:4) is hierdie ontwerpbesluit gegrond op die feit dat luide klanke die lint uit die magnetiese kragveld kan 'druk'. Watts (2010) maak dit egter duidelik dat die lint die klankdrukvlakke in beide rigtings (hoër en laer as atmosferiese druk) volg, behalwe by die aanwesigheid van wind of nie-liniêre skokgolwe.

³⁴Engels: *Bidirectional*



Figuur 4.4: Polariteit van klank uit teenoorgestelde rigtings soos opgeneem deur 'n drukmikrofoon. Sien C.1 vir die volledig eksperiment.



Figuur 4.5: Polariteit van klank uit teenoorgestelde rigtings in 'n drukgradiënt mikrofoon. Sien C.1 vir die volledig eksperiment

4.8.3 Gerigtheid & Poolpatrone

Gerigte mikrofone kan volgens Olson (1967:420) in twee klasse verdeel word: Gradiënt ontwerpe wat op die verskille in druk staatmaak vir gerigtheid, en golftipes wat staatmaak om konstruktiewe en destruktiewe interferensie. Die eerste praktiese mikrofoon met 'n niervormige poolpatroon is deur Olson in 1933 ontwikkel en deur RCA in 1933 as die 77A model vrygestel (Streicher & Dooley, 2003:214). Hierdie mikrofoon se gerigtheid het berus daarop om die lint vanaf een kant te demp, wat verstelbaar was om verskillende poolpatrone toe te laat (Olson, 1980:780).

Die volgende ontwikkeling was Von Braunmühl & Weber (1839) se uitvindsel om druk- en drukgradiënte transduktore te kombineer om gerigtheid te verkry.³⁵ WESTERN ELECTRIC het hierdie beginsel gebruik in die ALTEC 639B model, die eerste mikrofoon met verstelbare poolpatrone wat berus het op 'n kombinasie van druk- en drukgradiënte transduktore. (Streicher & Dooley, 2003:215) Die kombinasie van die twee elemente word volgens persentasie uitgedruk in tabel 4.1 en grafies voorgestel in fig. 4.6. Fig 4.7 is die uittree van 'n 'n GNU Octave funksie wat die poolpatrone van druk- en drukgradiënt elemente kombineer om 'n niervormige poolpatroon te vorm.³⁶

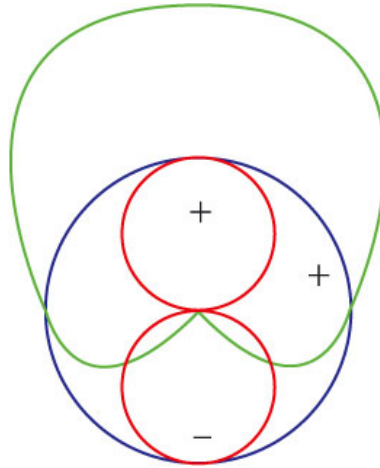
	Drukgradiënt	Druk
Bigerig	100%	0%
Hiperniervormig	75%	25%
Niervormig	50%	50%
Alomgerig	0%	100%

Tabel 4.1: Die kombinasie van druk- en drukgradiënt transduktore. (Martin, 1996:17)

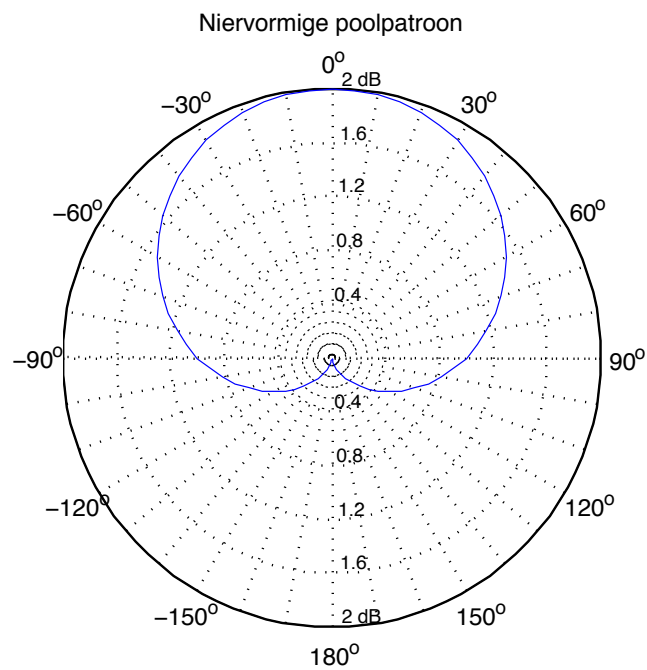
Die eerste enkel-element mikrofoon met 'n niervormige poolpatroon is uitgevind deur Bauer van SHURE (Klapholz, 1988:15). Die niervormige poolpatroon is verkry deur 'n 'akoestiese doolhof', waar sommige klankgolwe toegelaat word om die agterkant van die diafragma te bereik (Talbot-Smith, 2004:400). Die vertraging wat deur die doolhof veroorsaak word veroorsaak 'n verandering in fase (Glover, 1940) en daarom word daar na hierdie tipe mikrofone soms as 'fase-verskuiwing' mikrofone verwys (Woram, 1982:90). In die geval van 'n niervormige poolpatroon word die klank van agter vertraag sodat dit die diafragma dieselfde tyd

³⁵Sien Engel (1993) se artikel oor Weber se tegniese mylpale.

³⁶Sien addendum D.1 vir die volledig funksie.

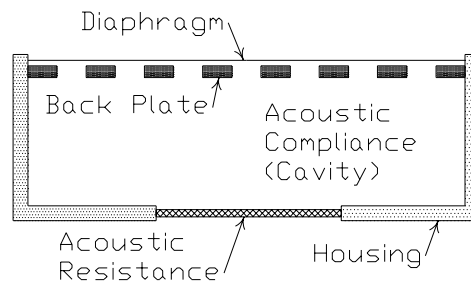


Figuur 4.6: Die kombinasie van poolpatrone.(White, 2007:74)



Figuur 4.7: Die afleiding van 'n niervormige poolpatroon

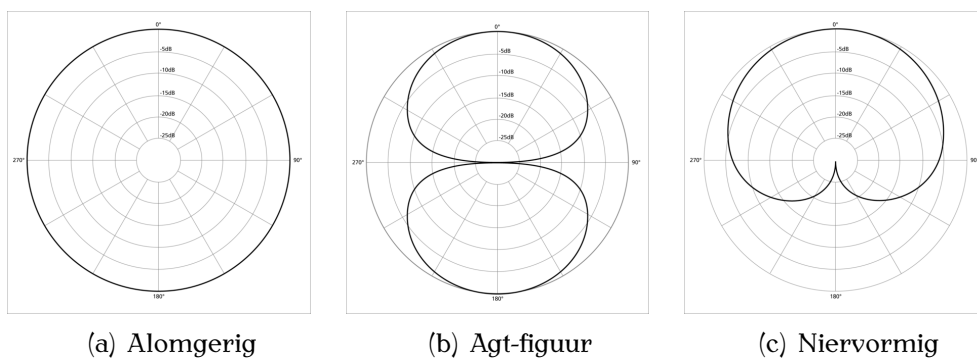
tref as die klank wat van agter beweeg het tot die voorkant van die mikrofoon (fig. 4.8). Hierdie klank tref nou die diafragma gelyktydig, maar is omgekeer in polariteit en lei dus tot destruktiewe interferensie (Torio, 1998).



Figuur 4.8: 'n Enkel element transduktor met 'n niervormige poolpatroon. (Torio & Segota, 2000:2)

Eienskap	Alom	Niervormig	Hiperniervormig	Agt-figuur
Vergelyking	1	$0.5 + 0.5 \cos \theta$	$0.375 + 0.625 \cos \theta$	$\cos \theta$
Uittreesein by 90° (dB)	0	-6	-8.6	$-\infty$
Uittreesein by 180°	0	$-\infty$	-11.7	0
Hoek waar Uittree = 0	-	180°	126°	90°
Afstandsfaktor	1	1.7	1.9	1.7

Tabel 4.2: Vergelyking van poolpatrone (Borwick, 1994:131)



Figuur 4.9: Die mees algemene poolpatrone

4.9 Mikrofoon Spesifikasies

4.9.1 Frekwensie-oordrag en Bandwydte

Die frekwensie-oordrag van 'n mikrofoon is die mate van akkuraatheid waarmee dit akoestiese informasie omskakel na 'n elektriese sein. Frekwensie-oordrag word gewoonlik gemeet deur 'n sinusgolf deur 'n gegewe reik te vee, teen 'n hoek van 0° relatief tot die mikrofoon se kapsule, en die resultate grafies te stip (Peus, 2004:3). Toetse word in uitsers stil omgewings gedoen om omgewingsruis uit te sluit (Smith, 1971). Ongelykhede in die oordragfunksie van 'n mikrofoon kan die hoorbare vervorming van 'n sein vererger en kan veranderinge in die toonkleur veroorsaak (Bücklein, 1981:126). Nogtans is dit nie gewens dat alle mikrofone oor 'n gelyke frekwensie-oordrag beskik nie aangesien afwykings in die frekwensie-oordrag kan kompenseer vir veranderende akoestiese toestande, omgewingsprobleme, of kreatiewe voorkeure (Butler, 1989:4).

Die frekwensie bandwydte van 'n mikrofoon is die reikafstand tussen die laagste³⁷ en hoogste frekwensie wat die mikrofoon suksesvol in 'n elektriese sein kan omskakel. Dit word bepaal deur die kapsule se diafragma spanning, die massa van die diafragma, en die akoestiese demping in die gaping tussen die diafragma en die rugplaat (Rasmussen, 1999:27-6). Hedendaagse tegnologie wat oor 'n bandwydte³⁸ beskik baie wyer as die menslike gehoorspektrum van 20–20 000Hz (Everest, 2000:17) het sommige vervaardigers soos SANKEN (Ono *et al.*, 2008) en SENNHEISER (Hibbing, 2001) gedryf om mikrofone te vervaardig met 'n bandwydte van tot 100kHz. In die geval van die frekwensie bandwydte hang dit ook af van wat die toepassing verlang, die YAMAHA SubKick dinamiese mikrofoon het byvoorbeeld 'n bandwydte van slegs 50–2000Hz (YAMAHA, 2009).

4.9.2 Sensitiwiteit

Die uittreesein van 'n mikrofoon word altyd gespesifiseer met verwysing tot 'n spesifieke intree klankdrukvlak. Twee verwysingsvlakke is algemeen in gebruik: Dit is $74dB_{SPL}$, die vlak van 'n gemiddelde praatstem teen 'n afstand van 3 voet; en $94dB_{SPL}$, wat ooreenstem met 'n relatief luide praatstem op 'n afstand van 1 voet. Sensitiwiteit word gewoonlik uitgedruk as 'n uittreesein van $x dB_V$ by $y dB_{SPL}$. (Davis & Jones, 1989:126) Daar bestaan egter volgens Ahnert & Steffen (1999:111) nie tans 'n stan-

³⁷Die laagste frekwensie in 'n mikrofoon se spesifikasies is die frekwensie, onder 250Hz, waar die oordrag met 3dB val (Nielsen, 1995:263).

³⁸Moderne klankmedia soos DVD-Audio laat monstertempos van tot 192kHz toe (Fuchigami *et al.*, 2000:1228), wat 'n frekwensie bandwydte baie wyer as die menslike gehoorspektrum insluit (Dunn, 1998).

daard spesifikasie om 'n mikrofoon se sensitiwiteit te bepaal en uit te druk nie.

Zucherwar (1941:1278) het die oop-stroombaan sensitiwiteit van 'n kapasitor mikrofoon kapsule as volg gemodelleer deur die fisiese aspekte wat 'n invloed het wiskundig uit te druk:

$$M_{oc} = M_e M_m = \frac{E_o}{H_o} \left(1 - \frac{b^2}{2a^2} \right) \left(\frac{1}{TH^2} \frac{J_2(Ka)}{J_0(Ka) + D(\omega)} \right) \quad (4.9.1)$$

waar M_e die elektriese-, en M_m die meganiese sensitiwiteit is, met h_o die gemiddelde gaping tussen die diafragma en die rugplaat as gevolg van die elektrostatische uitwyking veroorsaak deur die polarisasiestroom E_o . b is die rugplaat radius, a die diafragma radius, T die diafragma spanning, ω die hoekige frekwensie, en $J_0(Ka)$ en $J_2(Ka)$ is die nul- en tweede orde Bessel-funksies van Ka .

Die lint mikrofoon het die laagste sensitiwiteit wanneer vergelyk word met kapasitor en bewegende-spoel mikrofone. Tipiese oop-stroombaan sensitiwiteit spesifikasies kan as volg vertoon met 'n $74dB_{SPL}$ intreesin:

Mikrofoontipe	Uittreesein	Verhouding
Kapasitor	$-65dB_V$	$5.6mV/Pa$
Bewegende spoel	$-75dB_V$	$1.8mV/Pa$
Lint	$-80dB_V$	$1mV/Pa$

Tabel 4.3: Vergelyking van mikrofoon sensitiwiteit. (Bartlett, 1987:926)

4.9.3 Oorgangsverskynsel

Die oorgangsverskynsel³⁹ is die mate van sukses waarmee 'n 'n mikrofoon golfpieke omskakel na 'n elektriese stroom. Die massa van die diafragma speel 'n belangrike rol in die vermoë van 'n mikrofoon om golfkruine akkuraat te vertaal (Davis & Jones, 1989:125).⁴⁰ Die oorgangsverskynsel word gewoonlik gemeet deur 'n elektriese vonk⁴¹ te genereer en die uittree op 'n ossilloskoop waar te neem (Woszczyk, 2003:3). Ander toetsmetodes berus op geweerskote en ruimtes onder druk wat

³⁹Engels: *Transient response*

⁴⁰Die massa van die diafragma sluit die lug wat daaraan gekoppel is ook in soos in die geval van die diafragma van 'n kapasitor mikrofoon, en moet nie buite rekening gelaat word nie (Langen, 2007:2).

⁴¹Die elektriese vonk, veroorsaak deur 'n kortsluiting, is 'n ontploffing waar klankgolwe genereer word deur die uitsetting van warm gasse rondom die vonk (Lininger, 1972:2).

met membrane bedek is. Volgens Langen (2007:3) bestaan daar nie 'n standaard definisie van 'n oorgangsverskynsel, of 'n standaard toetsprosedure nie. Lininger (1972:2) is van mening dat 'n elektriese vonk 'n aanvaarbare klankgolf skep, en dat dit die verdere voordeel het dat 'n mikrofoon in normale atmosferiese toestande getoets word. Volgens Schneider (1998b:30) bestaan daar nie 'n ideale impuls nie en die ontploffing van elektriese vonk vorm ook 'n teenreaksie waar lug terugvloei na die area waar warm lug tydens die ontploffing uitgesit het. Peus (2004:4) beklemtoon die gebrek aan standaard toetspraktyke terwyl die oorgangsverskynsel in baie gevalle meer oor die mikrofoon se karakter kan wys as die frekwensie-oordrag. Kapasitor mikrofone reageer gewoonlik binne 'n paar mikrosekondes tot 'n 100dB toename in amplitude, maar die energie word baie stadiger ('n paar honderd mikrosekondes) vrygestel (Woszczyk, 2003:3).

4.9.4 Vervorming

Vervorming⁴² is 'n beskrywing van onsuiverhede of verandering in 'n sein en word gewoonlik uitgedruk as 'n persentasie of verhouding tussen die gewenste en ongewenste komponente (Cabot *et al.*, 2005:10-33). Vervorming word geklassifiseer as liniêr of nie-liniêr. Liniêre vervorming verwys na veranderinge in die amplitude en fase van 'n sein sonder om die golfkomponente te verbuig. 'n Verandering in die frekwensie-oordrag is 'n voorbeeld van liniêre vervorming. Nie-liniêre vervorming is waar frekwensies genereer word wat nie aanvanklik in die sein teenwoordig was nie (Temme, 1992:233). Die nie-liniêre eienskappe van kapasitor mikrofone kan in meeste gevalle toegeskryf word aan akoesties-meganiese vervorming, veroorsaak deur die meganiese eienskappe van die kapsule, of elektriese vervorming (Pastillé, 2000:559).

4.9.5 Totale Harmoniese Vervorming

Harmoniese vervorming het betrekking op die generering van botone wat nie oorspronklik in die sein teenwoordig was nie. Deur 'n Fourier-analise te gebruik kan daar gewys word dat die oorspronklike sein teenwoordig is, plus meervoudige heelgetal botone.⁴³ Vir 'n 1kHz sein sal daar dus botone teen 2kHz, 3kHz, 4kHz bestaan (Cabot *et al.*, 2005:10-33). Totale Harmoniese vervorming (THV) word gewoonlik beskryf as

⁴²Engels: *Distortion*

⁴³'n Eenvoudige en praktiese wyse om harmoniese vervorming te meet is om 'n sinusgolf te stuur na die toestel en dan die frekwensie van die sinusgolf in die uittreesein te onttrek deur 'n filter, waarna die produk die harmoniese vervorming (en 'n mate van ruis) sal wees (Davis & Jones, 1989:82).

'n persentasie van die som van al die botone teenoor die som van al die botone plus die grondtoon: (Temme, 1992:235)

$$\%THV = \frac{\sqrt{p_{2H}^2 + p_{3H}^2 \cdots p_{NH}^2}}{\sqrt{p_{1H}^2 + p_{2H}^2 + p_{3H}^2 \cdots p_{NH}^2}} \times 100 \quad (4.9.2)$$

Die harmoniese vervorming van 'n kapasitor kapsule is normaalweg baie laag en is opsigself nie 'n probleem nie. Die situasie vererger egter wanneer intermodulasie produkte vorm wat die waarneembare vervorming drasties laat toeneem (Hibbing & Griesse, 1981). Baie vervaardigers wys nie die vervorming spesifikasies van die hele mikrofoon nie (Josephson, 1990:10).

4.9.6 Intermodulasie Vervorming

Intermodulasie vervorming gebeur wanneer ten minste twee intreesein frekwensies kombineer om nuwe, harmonies onverwante, frekwensies te vorm (Davis & Jones, 1989:85). Dit is die gevolg van die som en verskil van komponente van twee of meer frekwensies. 'n Frekwensie van 2 en 3kHz kan byvoorbeeld intermodulasie produkte by 1 en 5kHz hê wat nie in die oorspronklike klankbron aanwesig was nie (White, 1999:29). Woszczyk (2003:7) het gevind dat in mikrofone die vervorming meer is in frekwensies bo 8kHz en dat beide amplitude en frekwensie modulasie vir intermodulasie vervorming verantwoordelik is.

4.9.7 Eieruis

Ruis word gesien as die aanwesigheid van enige ongewenste sein in 'n stelsel (Orsak *et al.*, 2004:1-52). Die eieruis van 'n mikrofoon word gedefinieer as die uittreesein in die afwesigheid van enige akoestiese impulse (Zucherwar *et al.*, 2003:3179). Tan & Miao (2009:3642) beskou eieruis as 'n uiters belangrike ontwerpsspesifikasie aangesien dit 'n perk plaas of 'm mikrofoon se sensitiwiteit. Twee bronne wat bydra tot die ruisvlak van 'n mikrofoon is die mikrofoon self en die voorversterker (Tarnow, 1987:379) (Zucherwar & Ngo, 1994:1419). Aangesien sekere voorversterkers binne 2dB van die teoretiese perk⁴⁴ van eieruis kom, dra mikrofone die meeste by tot ruis in die seinpad (Eargle, 2003:108).

Die ruis van 'n mikrofoon word deur beide die kapsule en die kop-versterker bygedra, maar die ruis van die gemiddelde kapasitor kapsule kan lê onder die menslike gehoordrempel (Schneider, 2000:5). Die ruis

⁴⁴Volgens die Nyquist-teorie genereer enigiets wat elektriese energie verbruik 'n ruisstroom wanneer dit in 'n toestand van temperatuur-ewewig verkeer (Watkinson, 1998:69). Dit is die gevolg van die termiese beweging van elektrone in metale wat elektriese ruis verwek, en hoorbaar is indien die sien versterk word (Huang, 2001:227).

van die kapsule word veroorsaak deur lugmolekules wat gedurig teen die diafragma bots, as gevolg van Brown se beweging, wat veroorsaak dat die diafragma beweeg, selfs in die afwesigheid van akoestiese impulse (Peus, 2004:4).

Die ruisvlak van 'n mikrofoon hoofsaaklik bepaal deur die elektromagnetiese stroombaan van die mikrofoon en volgens Burwen (1977:278) spesifiek deur die belasresistor verantwoordelik vir die spanningsverskuiwing in die kapsule.⁴⁵ Aangesien die elektronika in moderne mikrofoonstroombane baie naby is aan teoretiese perke, kan daar nie 'n vermindering in stroombaanruis voorspel word vir die toekoms nie (Hibbing, 1985). Termiese ruis kom voor in alle elemente wat elektriese weerstand bied. Termiese, of Johnson-ruis kan nie verhoed word nie as gevolg van die atomiese struktuur - wanneer elektrone versteur word, word daar altyd elektriese steurings veroorsaak. Hierdie steurings besit gelyke energie in alle frekwensies, ook bekend as wit ruis (Dove, 2002:727). Voelker & Teuber (2000) het egter bevind dat die grootste bydra tot ruis in opnames nie van mikrofone se self-ruis af kom nie, maar van die ruisvlakke van ateljees.

Mikrofoon model	Jaar vervaardig	Kapsule deursnee	Eieruis (dB_A)	Dinamiese reeks (dB)
KM 64	1964	21mm	21	102
KM 84	1966	21mm	17	103
KM 184	1993	21mm	16	122
U 67	1960	34mm	17	102
U 87	1967	34mm	18	104
U 87A	1986	34mm	12	105
M 49	1951	34mm	21	105
M 149	1995	34mm	13	101
U 89	1989	28mm	17	117
TLM 170	1983	28mm	14	130
TLM 193	1993	28mm	10	130

Tabel 4.4: Historiese oorsig van mikrofoon ruisvlakke. (Peus, 2004:4)

⁴⁵n Oplossing is om die weerstand wat gewoonlik rondom $250M\Omega$ lê te verhoog na $20\,000M\Omega$ (Burwen, 1977:278).

4.10 Elektroniese komponente

4.10.1 Verswakkers

Verswakkers⁴⁶ is passiewe stroombane wat 'n vasgestelde verlies bring tussen die bron en lading van 'n stroombaan met gelyke impedansie (Williams & Taylor, 2004:10-74). Alle transduktore het 'n maksimum ekskursie waarbuite die oordrag nie meer liniêr is nie, maar hierdie maksimum word in die geval van die diafragma selde bereik (Mitchell, 2002:517). Volgens Davis & Jones (1989:126) is dit meer waarskynlik dat die voorversterker en uittreetransformator sal oorlaai voor die diafragma, en daarom het baie mikrofone verswakkerskakelaars wat die uittree van die kapsule verlaag om te verhoed dat die sein die elektronika later in die seinpad oorlaai (Dove, 2002:737).

Hierdie verlaging van seinsterkte word bereik deur 'n verswakker te gebruik om of die intreestroom by die transistor of vakuumbuis te verminder, of om die polarisasiestroom van die kapsule verlaag (Pastillé & Ochmann, 2004:695). In die geval waar 'n mikrofoon nie oor 'n verswakkerstroombaan beskik nie kan 'n eksterne buffer soos die SHURE A15AS (27C1915, Rev. 7) gebruik word. Dit word tussen die mikrofoon en die voorversterker in die seinpad geplaas en stel die mikrofoon in staat om seine in die omgewing van $124\text{dB}_{\text{SPL}}$ te kan hanteer sonder om die voorversterker te oorlaai (Smith & Wittman, 1969:14). Elke mikrofoon ontwerpskeuse verteenwoordig egter 'n kompromis van 'n aard, waar die een voordeel 'n ander nadeel tot gevolg het. In die geval van 'n verswakkerskakelaar is dat dit sein-tot-ruis verhouding negatief beïnvloed (Bartlett, 1987:925). In die geval van 'n verswakker met dieselfde uittree-impedansie as die mikrofoon word die sein-tot-ruis verhouding verminder met dieselfde hoeveelheid as wat die verswakker die sein verminder (Smith & Wittman, 1969:14).

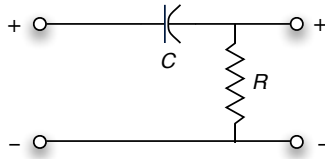
4.10.2 Hoogdeurlaat-filter

'n Hoogdeurlaatfilter verminder alle frekwensies onder die afsnyfrekwensie (Russ, 1996:78). Dit is 'n baie eenvoudige stroombaan (fig. 4.10) wat bestaan uit 'n kapasitor (C) en 'n resistor (R). Die gebruike van hierdie filter op 'n mikrofoon sluit in die vermindering van ruis veroorsaak deur plosiewe⁴⁷, wind, en hantering (Schneider, 2000:3). Mikrofone wat nie oor ingeboude hoogdeurlaafilters beskik nie kan gebruik maak van 'n

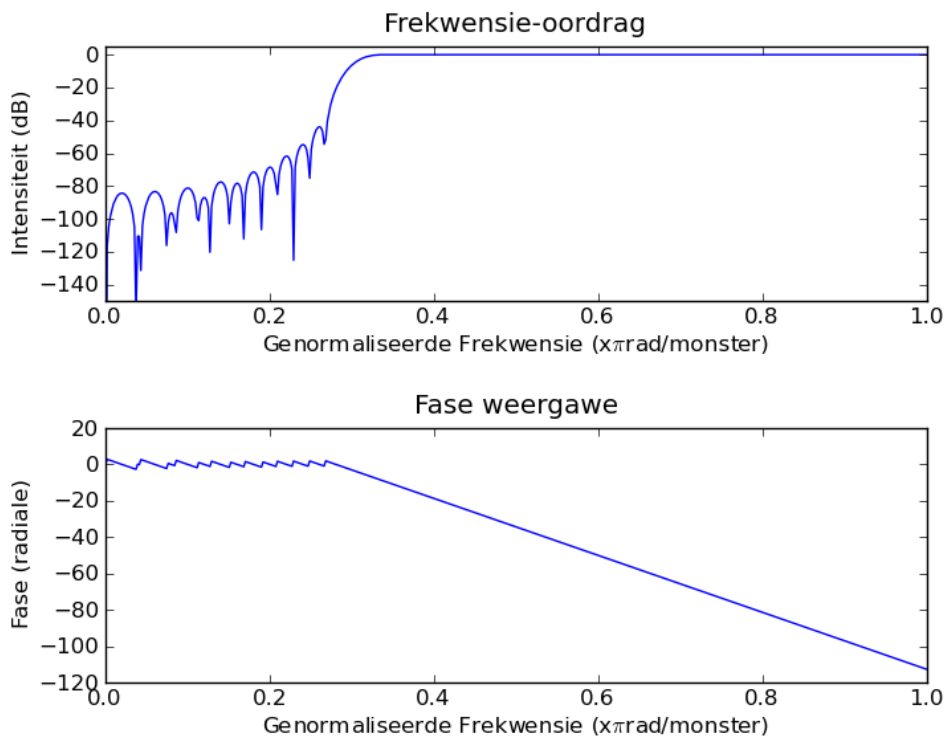
⁴⁶Engels: *Attenuator*

⁴⁷Plosiewe konsonante (P,B en T) word so genoem as gevolg van die hoë spoed van lug wat die mond verlaat. Hierdie vinnige beweging van lug tref die diafragma en het 'n wye ekskursie tot gevolg wat vertaal in 'n lae frekwensie plofklank by die mikrofoon se uittree (Ahern, 2006:39) (Schneider, 1998a). In die geval van 'n kapasitor mikrofoon kan 'n diafragma ekskursie van 'n paar mikron klankdrukvlakke in die omgewing van

inlyn filter soos die SHURE A15HP. Die afsnyfrekwensie en die helling hang af van die mikrofoon se impedansie (27C1917 , Rev. 5). Die invloed van 'n filter op die frekwensie- en fase oordrag word voorgestel in fig. 4.11:⁴⁸



Figuur 4.10: RC Hoogdeurlaatfilter.(Boylestad, 2003:1033)



Figuur 4.11: Frekwensie- en fase weergawe van 'n hoogdeurlaat-filter

140dB_{SPL} veroorsaak (Schneider, 1998b:26).

⁴⁸Python kode is gebruik om die teoretiese weergawes soos deur Smith (1997:288) beskryf is, uit te stel. Sien addendum D.2

4.10.3 Kopversterkers

Kapasitor mikrofone beskik in die meeste gevalle oor 'n kopversterker⁴⁹, 'n tipe voorversterker wat volgens Davis & Jones (1989:153) hoofsaaklik as 'n impedansie omsetter werk. Dit gee die mikrofoon 'n uittreeimpedansie van 50–200 Ω in plaas van die kapasitor element se uiters hoë impedansie. 'n kapasitor mikrofoon met 'n 25mm kapsule en 'n diafragma spasiëring van 50 μ m beskik oor 'n elektriese kapasitansie van ongeveer 10⁻¹⁰, met die gevolg dat die impedansie by 'n 1000Hz ongeveer 1M Ω is (Rossing & Fletcher, 2004:241). Die kopversterker versterk die uittree met 'n paar desibel en maak dit moontlik vir die sein om deur lang kables gestuur te word sonder om deur ruis en hoë-frekwensie verlies beïnvloed te word. Die kopversterker beskik oor 'n baie hoë impedansie om te verhoed dat die spanning op die kapasitor element lek (White, 1999:26).

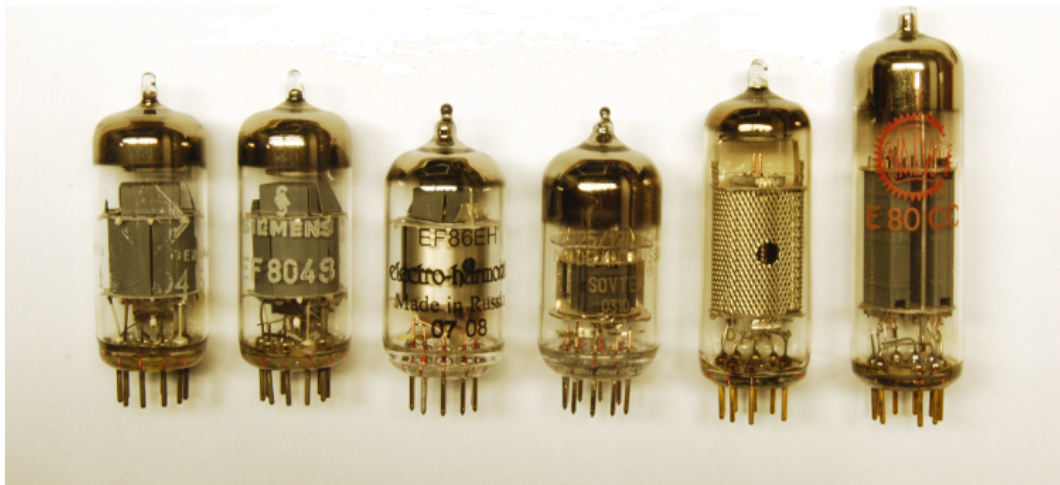
4.10.3.1 Vakuumbuise

Byna 'n eeu na die uitvinding van vakuumbuise is elektronika wat op hierdie tegnologie berus steeds baie gewild as gevolg van die unieke eienskappe daarvan. Vakuumbuis versterkers, voorversterkers en instrumentversterkers word steeds deur baie maatskappy vervaardig en bly baie gewild onder verbruikers (Van der Veen, 2005). Die klank van vakuumbuise word deur baie luisteraars as 'ryk' en 'warm' ervaar (Huber & Runstein, 1997:458). Temme (1992:236) skryf dit toe aan die nie-liniêre eienskappe van vakuumbuise wat golfkruine sagter afknip as transistors teen hoë seinvlakke. Verder kom daar heelwat gelyke orde vervorming voor wat ooreenstem met perfekte oktaaf intervale en as aangenaam ervaar word deur luisteraars. (Hamm, 1973:269) Rutt (1984:6) beklemtoon egter dat die hele stroombaan 'n invloed het op die klank en nie slegs die buis of transistor nie.

Edison het in 1883 ontdek dat elektrone in 'n vakuum gloeilamp vloei vanaf 'n warm gloeidraad na 'n aparte elektrode (Ballou, 2002:269). Edison (1884) het sy patent aangewend as 'n gelykrichter⁵⁰ in 'n elektriese stroom. Ambrose J. Fleming het hierdie ontwerp in 1903 aangepas om te gebruik as 'n detektor van radio-golwe (Welch, 1977:661). Die laaste stap in die proses van die ontwikkeling van die moderne vakuumbuis was Lee de Forest se *Audion*. De Forest het die rooster bygevoeg in die ontwerp van Edison en daardeur 'n buis vervaardig wat gebruik kon word as 'n versterker van elektriese stroom (Clark, 1993).

⁴⁹Daar is besluit op 'kopversterker' as 'n vertaling vir *head amplifier* aangesien die oorspronklike woord afgelei is van die posisie van die versterker naby die kop van die mikrofoon, vereis deur die lae uittreeimpedansie van die kapsule (Lyver, 2003:25).

⁵⁰Engels: *Rectifier*



Figuur 4.12: 'n Versameling Vakuumbuise

Vakuumbuismikrofone se ontwerp berus op 'n vakuumbuisversterker wat 'n uittree-transformator dryf om sodoende 'n lae impedansie verbinding te bewerkstellig. 'n Veelgeleierkabel word gebruik om die stroom wat die gloeidraad, plaat en kapsule benodig het te dra na die mikrofoon en die klanksein terug daarvandaan (Josephson, 1990:2).

4.10.3.2 Transistors

John Bardeen en Walter Brattain het die silikoon⁵¹ transistor ontwikkel in 1947. Brinkman *et al.* (1997:1861) beskryf William Shockley se rol om die teoretiese grondslag te beskryf net so belangrik as die van die uitvinders. In 1958 het Jack Kilby van TEXAS INSTRUMENTS⁵² die eerste geïntegreerde stroombaan gedemonstreer wat van germanium⁵³ vervaardig is (Neamen, 2007:1). Rondom 1965 het transistors so effektief geword dat dit begin het om vakuumbuise as impedansie-omsetters in mikrofone te vervang. Transistors is meer duursaam, beskik oor 'n laer ruisvloer, en het baie laer kragverbruik as vakuumbuise (Peus, 2004:3). Transistors het mikrofone in staat gestel om weg te doen met die aparte kragbronne

⁵¹Silikoon (Si), met die elementnommer 14, is die mees algemene halfmetaal wat 25.7% van die aardkors se massa verteenwoordig. Suiwer silikoon is baie raar in natuurlike vorm en kom meer algemeen voor in oksiede en silikate. Silikoon word ontgin deur silica en koolstof te verhit in elektriese hoogoonde met koolstof elektrodes (Emsley, 2007:388).

⁵²<http://www.ti.com/>

⁵³Germanium (Ge), element nommer 32 is 'n halfmetaal wat gewoonlik verkry word as 'n byproduk van metaalsuiwering. Dit word gewoonlik bemark as GeO_2 in 'n poeivorm (Amos & James, 2000:269).

wat vakuumbuise benodig het, en skimkrag is begin gebruik om krag aan die mikrofoon te voorsien (Josephson, 1990:2).

4.10.4 Transformatore

Die werking van transformatore berus op Hans Christian Ørsted se ontdekking van elektromagnetisme en Michael Faraday se ontdekking van elektromagnetiese induksie (Sowter, 1987:760). 'n Transformator bestaan uit twee of meer draadspoele wat gedraai word rondom 'n kernmateriaal⁵⁴ met magnetiese eienskappe. Elke spoel word 'n winding genoem en die drywende winding die primêr en die windings waarna die stroom oorgedra word, die sekondêre (Brown & Whitlock, 2005:2).

Transformatore kan stroombaanimpedansie verander na meer gepasde waardes, en dit verskaf galvaniese isolasie tussen twee stroombane. Dit vereis geen kalibrasie nie en die eienskappe daarvan is stabiel. Gemene-modus verwerping⁵⁵ van radiogolwe is ingebore tot transformatore met Faraday-skerming (Whitlock, 1995:454).

Sommige kenners soos Peus (2004:3) voel dat die nadele van transformatore die voordele oorskadu. Transformatore het 'n invloed op die frekwensie-oordrag en oorgangsverskynsel van die mikrofoon. Die vervanging van 'n transformator met 'n elektroniese stroombaan hou akoestiese, meganiese, en ekonomiese voordele in.

Die invloed van die standaard transformator in die SHURE SM57 dinamiese mikrofoon is eksperimenteel ondersoek.⁵⁶ Daar is gevind dat die transformator wel 'n invloed het op die frekwensie-oordrag (fig. 4.13) en oorgangsverskynsel (fig. 4.14). Die vraag wat buite die bestek van die studie val is of dit noodwendig ongewens is?

4.11 Elektriese Aspekte van Mikrofone

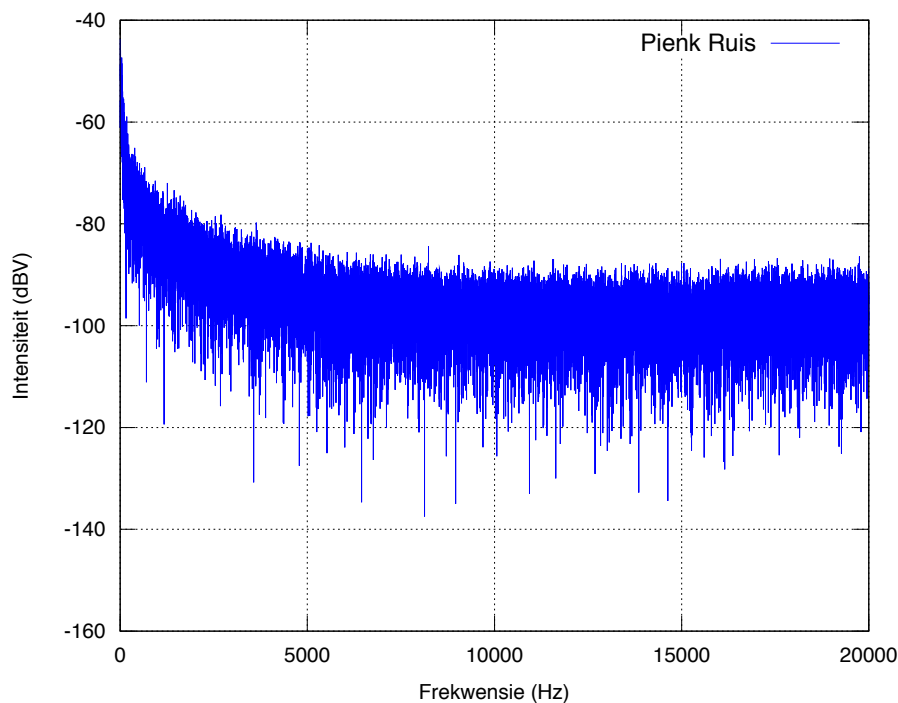
4.11.1 Verbindings en Kabels

Daar is diegene wat aanspraak maak daarop dat die verskille in verskeie vervaardigers se kabels hoorbaar is, maar blinde toetse se resultate het die teendeel bewys (Greenspun & Klotz, 1988) (Nousaine, 1990). In die meeste kabels is die punt waar die frekwensie-oordrag nie binne $\pm 3dB$ val nie 'n paar MHz buite die bandwydte van klank (Black, 2006:2).

⁵⁴Die materiale wat algemeen gebruik word sluit in silikon staal en nikkel-yster-molibendum allooië. Hierdie materiaal konsentreer magnetiese vloed en vermeerder die induksie van die transformator spoel (Whitlock, 2002:234).

⁵⁵Gemene-modus verwerping (Engels: *common-mode rejection*) is die vermoë van die transformator om strome wat identies is in amplitude en fase te vermy en nie oor te dra na die sekondêre winding nie (Dove, 2002:p730).

⁵⁶Sien Addendum C.2 vir die volledige eksperiment.



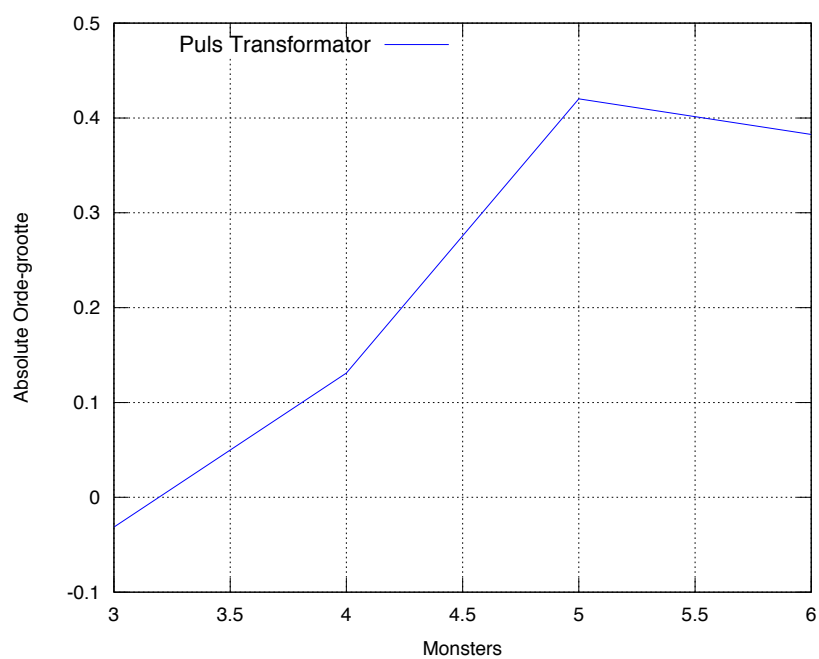
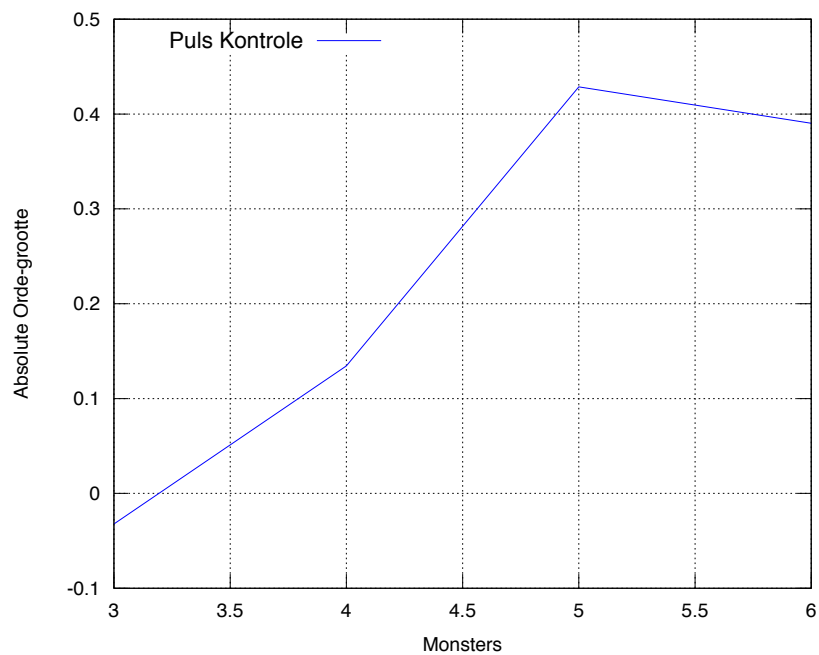
Figuur 4.13: Nul-toets uitslag van 'n SHURE SM57 transformator

4.11.1.1 Gebalanseerde en Ongebalanseerde verbindings

Ongebalanseerde verbindings het die nadeel dat enige interferensie, hetsy elektries of magneties, superimponeer word op die bestaande sein. Vroeg in die geskiedenis van telefonie is daar ontdek dat gedraaide pare kables 'n groot hoeveelheid ruisonderdrukking bied. Dit was die gevolg van die 'balans' van die twee geleiers (Lampen, 2000:1). In 'n gebalanseerde verbinding word enige interferensie in beide geleiers eweredig gedra, en kanselleer mekaar uit by die differensiaal intree (Wuttke, 2009:1). Die *IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms* definieer 'n gebalanseerde verbinding as:

“a transmission line consisting of two single or two inter-connected groups of conductors capable of being operated in such a way that when the voltages of the two groups of conductors at any transverse plane are equal in magnitude and opposite in polarity with respect to ground, the total currents along the two groups of conductors are equal in magnitude and opposite in direction” (ANSI/IEEE Std. 100-1977:50)

Muncy (1995:437) se definisie van 'n gebalanseerde verbinding is 'n dubbel-geleier stroombaan waar beide sokke en alle bronne wat daaraan



Figuur 4.14: Oorgangsverskynsel van 'n SHURE SM57 transformator



Figuur 4.15: Gebalanseerde mikrofoonkabel

gekoppel is oor dieselfde impedansie beskik en dat die sein-amplitudes op elk van die twee geleiers op enige gegewe tydstip presies gelyk moet wees, met omgekeerde polariteit. Dit is van uiterste belang dat alle komponente in die seinpad die balans moet behou om die voordeel van 'n gebalanseerde verbinding te geniet (Whitlock, 1995).

4.11.1.2 Kontakskokke

Die standaard kontakskok wat in mikrofone gebruik word is die drie-pen XLR kontakskok oorspronklik deur CANNON⁵⁷ ontwikkel as deel van die XL reeks van produkte in 1958 (ITT XL:2008). Die voordele van hierdie kontakskok sluit in dat drie geleiers het, geskerm is, dit sluit vas in plek, laat verlenging toe, en die grondpen maak eerste kontak om statiese lading van die kabel te drein (Eiche, 1990:129). Bortoni & Kirkwood (2010:203) het egter opgemerk dat die grondpen nie altyd eerste kontak maak in die praktyk nie. Dit word veroorsaak deur die hoek waarteen die kontakskok ingedruk word en oksidasie van die penne. Die AES14-1992 -r2004 standaard spesifiseer pen een as grond, pen twee as positief, of warm, en pen drie as negatief, of koud. Die rede vir die vroulike XLR in intreesokke is die teenwoordigheid van skimkrag wat dit nodig maak om geïsoleerde kontakte te gebruik (Watkinson, 1998:153).

4.11.1.3 Kables

Kables met dieselfde deursnit en draaddikte kan tot 'n groot mate verskil ten opsigte van weerstand, induksie tussen geleiers, en skermdigtheid (Davis & Jones, 1989:281). Die impedansie van 'n kabel is ook nie konstant teen alle klankfrekwensies nie (Lampen, 2002:3). Die weerstand van hoë kwaliteit kables is in die omgewing van $100\Omega/km$, wat wys dat in die meeste situasies, selfs in lang kables, die invloed van weerstand weglaatbaar is (Schneider, 2005). Die impedansie van kables speel ook 'n klein rol aangesien dit eers begin om 'n invloed te hê op frekwensies in die gehoorspektrum in kables met 'n lengte van langer as 2,5 km

⁵⁷Deesdae bekend as *ITT Interconnect Solutions*. <http://www.ittcannon.com>

(Wuttke, 1985:3).⁵⁸ Gebalanseerde verbindings maak staat op kables met identiese geleiers, en alhoewel kables nooit perfek simmetries is nie, is kwaliteit kables in meeste gevalle genoegsaam in hierdie aspek, en het 'n weglaatbare invloed op die sein (Wuttke, 2009:2).⁵⁹

4.11.1.4 Skerms en Gronding

Magnetiese velde bestaan rondom alle stroomdraende geleiers. Hierdie velde, bekend as elektromagnetiese interferensie (EMI) kan ander stelsels beïnvloed en foutiewe werking veroorsaak (Muncy, 1995:436). Dit sluit in ruis en kruispraat, waar energie oorgedra word van een geleier na 'n ander geleier deur elektrostasiese of elektromagnetiese oordrag, as gevolg van ongelykhede in die vervaardiging van die kabel (Wiedmann, 1970:176). Skerms en gronding soos gespesifiseer deur die AES48-2005 standaard probeer die invloed van EMI op seinpaaie beperk.

'n Skerm word gedefiniër as 'n geleidende afskorting tussen twee ruimtes wat poog om die voortplanting van elektriese of magnetiese velde van die een ruimte na die ander te voorkom. Dit sluit in die skerms rondom kables en die metaal dop van elektroniese toerusting (Fause, 1995). Grond beteken 'n verbinding met die aarde en is gebruik voor die dae van elektrisiteit as weerligafleiers (Muncy, 1995:437). In beginsel kan skerms gesien word as 'n verlenging van die metaalkabinette waarin elektriese eenhede gehuisves word. Hierdie kabinette moet gewoonlik volgens wet geaard⁶⁰ wees. Hierdie aard verskil van die seingrond, wat die 0V potensiaalverskil is vir die interne elektronika (Macatee, 1995:475).

Grondlusse is die gevolg van 'n aard op meervoudige liggings, wat veroorsaak dat die skermstroombaan vanaf een toestel na die volgende vloei (Schneider, 2005:6). Om dit te verhoed, kan die skerm aan die een kant ontkoppel word, maar 'n skerm wat net aan een kant gekoppel is reageer soos 'n lugdraad wat radio-frekwensie interferensie kan vererger. Hierdie verskynsel word skermstroom-geïnduseerde ruis genoem (Brown, 2003a,b) (Brown & Whitlock, 2003). Brown & Josephson (2003) het bevind dat radio-frekwensie interferensie 'n groot bydra lewer tot die ruisvlakke van mikrofone. Mikrofone ervaar egter selde grondprobleme aangesien dit oor 'n metaal dop beskik, en deur 'n pastiek knip of skokbreker geïsoleer word van die aard (Schneider, 2005:11).

⁵⁸Digitale verbindings is egter meer veeleisend en 'n kabel wat 'n AES/EBU sein dra word deur impedansie beïnvloed in lengtes van tussen 10 en 20m (Wuttke, 1985:3). Kirby (1995:137) het gevind dat data-kables meer geskik is vir die dra van digitale klankseine (soos AES/EBU) as tradisionele analoog kables.

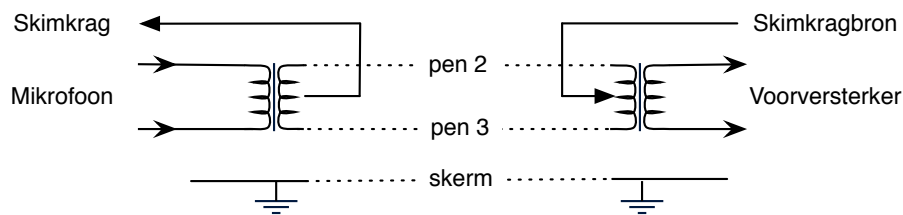
⁵⁹Kables wat nie simmetries is nie kan of die sein wat dit dra uitstraal, of kan eksterne interferensie optel wat dit nie kan verwerp nie. (Lampen, 2000:1)

⁶⁰Hierdie aard verwys nie noodwendig na 'n verbinding met die aarde nie, maar na die stelsel se aard, soos in die geval van 'n vliegtuig (Macatee, 1995:473).

4.11.2 Skimkrag

Skimkrag is 'n manier om krag te voorsien aan 'n mikrofoon vanaf die voorversterker. Die naam is afgelei van die feit dat skimkrag 'onsigbaar' is vir die klanksein aangesien die helfte van die spanning in elk van die geleiers vloei (Wuttke, 2009:7). Die meeste kapasitor mikrofone kan werk op enige stroom tussen 9 en 52 V_{dc} aangesien die mikrofoon oor 'n stroomreguleerder beskik. Die belangrikste vereiste van skimkrag is dat die kragstroom presies gelyk moet wees in beide geleiers om te verseker dat dit geen invloed het op die intree van die voorversterker nie (Dove, 2002:p741).

Skimkrag word voorsien via twee resistors met gelyke waarde, gewoonlik 6800Ω . Die sekondêr van die mikrofoon se transformator beskik oor 'n kerntap, of twee resistors in die afwesigheid van 'n transformator, wat die stroom gelei na die elektronika en diafragma van die mikrofoon. Die negatiewe stroom word gedra deur die skerm van die kabel (Rumsey & McCormick, 2009:67).



Figuur 4.16: Skimkragvoorsiening. (Davis & Patronis, 2006:447)

Wuttke (1999:3) beskryf die verkeerde skimkragbronne as een van die mees algemene ruisbronne in kapasitor mikrofone. Selfs in baie duur toerusting is die kragbron soms nie geskik nie, en die resultaat is 'n toename in vervorming en 'n afname in die mikrofoon se dinamiese reik.⁶¹ Volgens Josephson (1990:3) is bestaande skimkragvoorsieningsbronne se ontwerp nie voldoende om 'n dinamiese reik van meer as 120dB toe te laat nie. Die vervaardiger van voorversterkers het volgens Dearden (2009)⁶² verskeie uitdagings in die ontwerp van 'n geskikte skimkragvoorsiening: Mikrofone gebruik nie 'n standaard hoeveelheid stroom nie en daar is geen wyse om die mikrofoon se hantering van die skimkrag te

⁶¹Sien Zaim *et al.* (2008) vir ekstensiewe toetse op skimkragvoorsiening van mengers van verskillende vervaardigers.

⁶²Die Suid-Afrikaner David Dearden is die tegniese direkteur van AUDIENT (voormalig van SOUNDCRAFT), vervaardiger van voorversterkers, seinverwerkers, en mengers. <http://www.audient.com>

beheer nie. 'n Meer moderne toepassing van skimkrag is om dit te gebruik as 'n afstandbeheer vir die poolpatroon vir 'n mikrofoon (Peus & Kern, 1993).

4.11.3 Impedansie

Impedansie is 'n mikrofoon of stroombaan se opposisie teen die vloeï van stroom. Soos die gelykstroom teëbeeld, weerstand, word dit uitgedruk in Ohm (Ω) (Butler, 1989). Die impedansie van 'n uittreestroombaan, bekend as die bronimpedansie, is 'n aanduiding van hoe maklik die stroom daarvan sal vloeï. Die lasimpedansie is 'n aanduiding van hoeveel stroom 'n intree sal trek (Davis & Jones, 1989:127). Mikrofone word verdeel in twee klasse ten opsigte van impedantie, hoog (5–10k Ω) en laag (rondom 200 Ω). As gevolg van die wyse waarop lintmikrofone werk, naamlik die verskil in fase tussen die voor- en agterkant van die diafragma of lint, verskil die impedansie van die mikrofoon na gelang van frekwensie (Werner, 1955:195). Hoë impedansie mikrofone word baie meer beïnvloed deur elektromagnetiese interferensie en die kapasitansie van kables (Martin, 2004:20-24) (White, 1999:39).

Die standaard uittree impedansie van lae impedansie mikrofone van 200 Ω is gekies aangesien dit hoog genoeg is om transformator verhoging toe te laat, terwyl dit laag genoeg is om oor lang kables gestuur te kan word (Rumsey & McCormick, 2009:49). Moderne lae-impedansie mikrofone vereis meestal 'n lasimpedansie van groter as 'n 1000 Ω (Brown & Whitlock, 2005). Mikrofone se uittree impedansie word gekies om so laag as moontlik te wees en die voorversterker se intree impedansie so hoog as moontlik. 'n Minimum verhouding van 1:5 moet gehandhaaf word (Schneider, 2005). Alhoewel 'n inkorrekte verhouding tussen bron- en lasimpedansie steeds sal werk volgens Scott (1953:95), sal laer ruisvlakke en meer akkurate klankreproduksie verkry word as die mikrofoon gekoppel word aan 'n hoë, verkieslik oneindige, impedansie (Dove, 2002:732).

4.12 Meganiese Aspekte van Mikrofone

4.12.1 Kapsule Afmetings

Groot-diafragma mikrofone is baie gewild onder opname-tegnici, en 'n studie deur Wuttke (1999:6) het gevind dat die voorkeur hoofsaaklik toegeskryf word aan die groot, esteties indrukwekkende formaat van 'n mikrofoon. Die meganiese dimensies van 'n mikrofoon word ontwerp in ooreenstemming met akoestiese toestande soos die opbou van druk voor die diafragma (Killion, 1975:123). Om hierdie rede is die benaderde

grootte van klein diafragma mikrofone in die omgewing van 21mm, en groot diafragma mikrofone 34mm (Peus, 2004:4). Groot diafragmas is minder ontvanklik vir ruis, aangesien die impuls opgebou word deur 'n impak van meer lugmolekules as in die geval van 'n kleiner diafragma (White, 1999:21).

Volgens Wuttke (1999:6) het groot-diafragma mikrofone vanuit 'n fisiese oogpunt, 'n paar voordele, maar meervoudige nadele. Die grootste nadeel is die invloed van die kapsule in die poolpatroon van sekere frekwensies, wat 'n gekleurde klank tot gevolg het. Hierdie klank kan egter ook wenslik wees. Die feit dat die poolpatroon van 'n gerigte mikrofoon relatief alomgerig teen laer frekwensies is, kan een van die redes wees waarom hierdie tipe mikrofone se klank as 'warm' beskryf word. Hoe kleiner die dimensies van die kapsules, hoe meer getrou is die poolpatroon teen hoër frekwensies (Rumsey & McCormick, 2009:55). Die rede daarvoor is dat die kapsule, in die spektrum waar golflengtes van die klankgolwe korter raak as die kapsule dimensies, 'n 'akoestiese skaduwee' werp oor die rugkant van die kapsule (Holman, 1997:70).

Klein gerigte mikrofoon kapsules vertoon wel 'n afname in sensitiviteit teen lae frekwensies, maar dit kan reggestel word deur effening in die mikrofoon se elektronika (Bartlett, 1986:3). Alomgerigte kapasitor kapsules besit 'n perfekte lae-frekwensie-oordrag wat strek tot naby DC (Wuttke, 1999:6).

4.12.2 Mikrofoon Dop

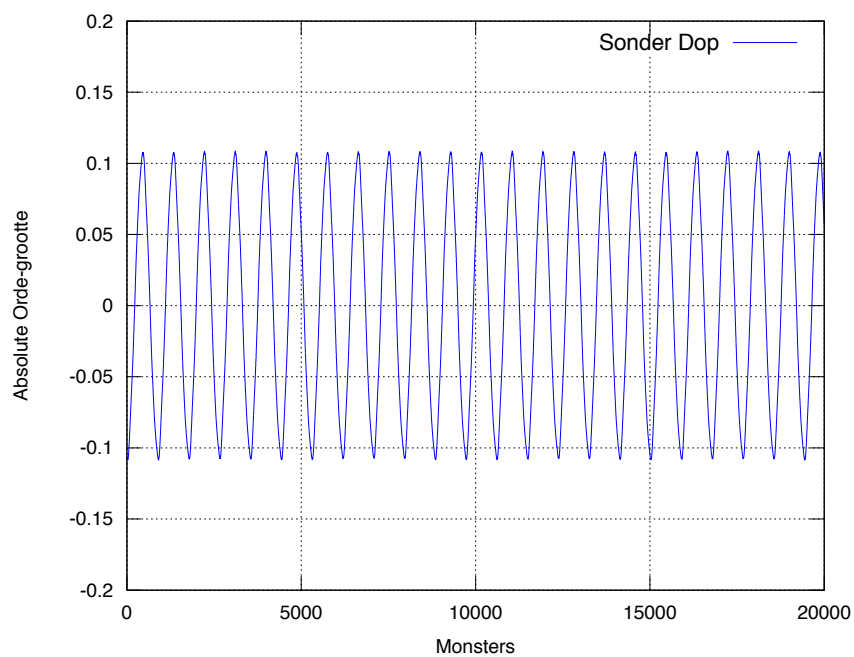
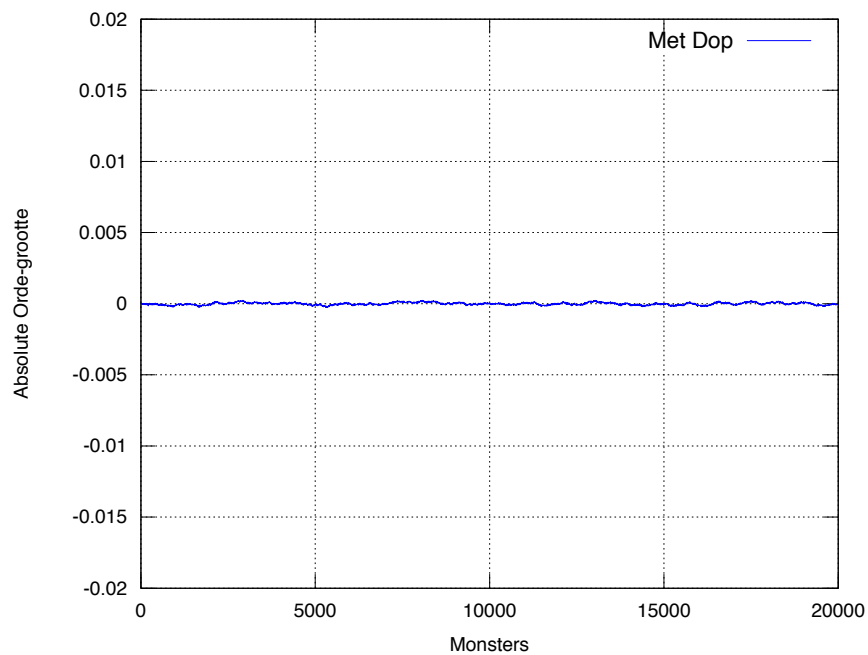
Die oorgrote meerderheid van mikrofone beskik oor 'n geleidende metaal dop wat ten doel staan om 'n Faraday-skerm te skep teen interferensie van enige aard (Schneider, 2005). 'n Faraday-skerm is 'n metaal dop, solied of gaas, wat verhoed dat 'n elektroniese toestel elektromagnetiese velde ontvang of uitstraal (Park, 2003:148). As 'n voorbeeld is die ruisvlakke van 'n OKTAVA M319 mikrofoon gemeet met en sonder 'n dop.⁶³ Die verskil in ruisvlakke word in fig. 4.17 uitgestip.

Alhoewel die mandjie van 'n mikrofoon ten doel staan om die kapsule te beskerm moet dit ook so oop as moontlik wees om die klank so min as moontlik te beïnvloed (Schneider, 2000:5).⁶⁴ Sodra 'n mikrofoon in 'n klankveld geplaas word, versteur dit ook die klankveld (Nielsen, 1995:267).⁶⁵ Die uitdaging is om 'n balans te handhaaf tussen die beskerming wat die mandjie bied en die onderdrukking van windruis teenoor

⁶³Die volledige eksperiment word beskryf in Addendum C.3.

⁶⁴Ballou (2009b:164) sien pop-filters, wat dieselfde doel as die mandjie het, as akoestiese weerstand. Die doel is egter om so min akoestiese weerstand as moontlik te bied, terwyl dit lugturbulensie verhoed.

⁶⁵Sien ook die werk van Faran (1951:405) ten opsigte van die verstrooiing van klank deur silinders en sfere.



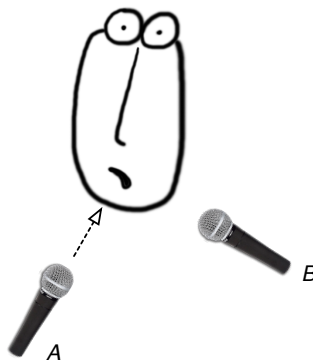
Figuur 4.17: Invloed van die dop op ruisvlakke

die akoestiese deursigtigheid en gerigtheidseienskappe van die mikrofoon (Brixen, 2005:2). Die digtheid van die gaas van die rooster het 'n groot invloed op die wyse waarop die mikrofoon bestand sal wees teen plosiewe (Schneider, 2000:5).⁶⁶ Tabel 4.5 dui die invloed van die mandjie op die uittreesein aan.

Grootte	Lae Gaas	Uittreesein
Klein	2	82 dBA
Klein	3	74 dBA
Medium	3	71 dBA
Groot	3	66 dBA

Tabel 4.5: Plosiewe gemeet met verskillende mandjies. (Schneider, 1998b:26)

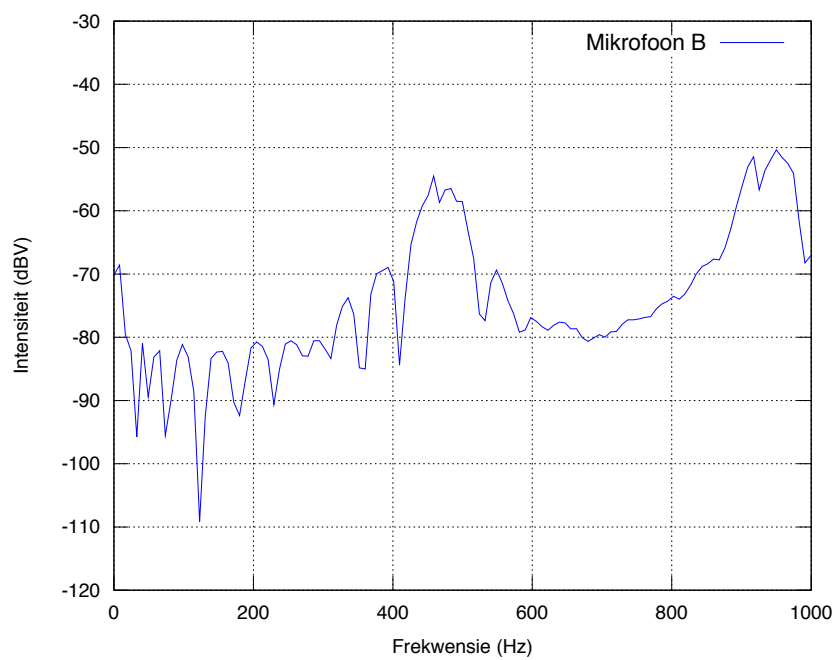
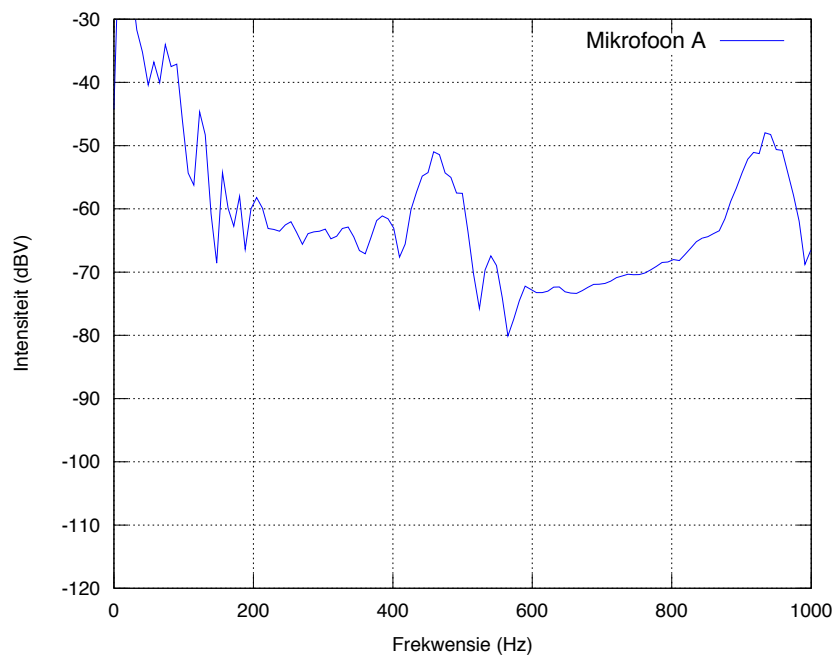
Windruis is die gevolg van wind wat die diafragma beweeg en 'n sein veroorsaak wat gelyk of groter as die sein van die stem kan wees (Staple *et al.*, 1994:1). Alle transduktore het 'n maksimum ekskursie waarbuite die oordrag nie meer liniêr is nie (Mitchell, 2002:517). Hierdie nie-liniêre oordrag is voorgestel deur 'n eksperiment⁶⁷ waar die gevolg van 'n skokgolf, veroorsaak deur wind, op die frekwensie-oordrag van 'n mikrofoon ondersoek word. Twee mikrofone is opgestel ewe ver van 'n sanger se mond teen 'n 0° en 90° hoek (fig. 4.18). 'n Fourier-analise (fig. 4.19) dui die frekwensies aan wat deur die skokgolf veroorsaak is.



Figuur 4.18: Opstelling van skokgolf eksperiment

⁶⁶Dit is selfs gewild onder opname-tegnici om 'n laag gaas te verwyder van die Oktava MK 319 mikrofoon se mandjie om die interne refleksies te verminder (DeLapp, 2007).

⁶⁷Sien Addendum C.4 vir die volledige eksperiment.



Figuur 4.19: Die generering van frekwensies nie teenwoordig in bron

Die Uitdagings van die Opname-tegnikus

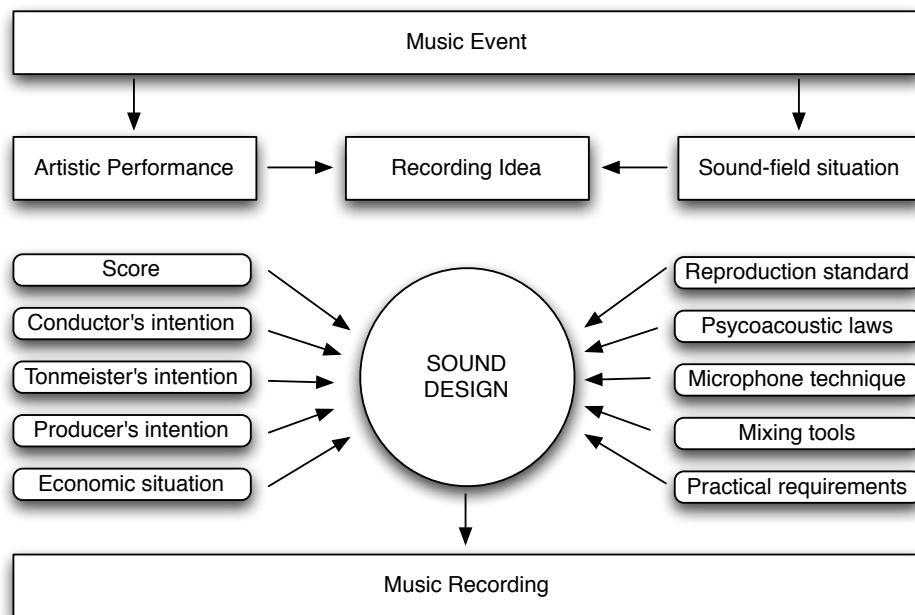
SEDERT die vroegste opnames is dit volgens Horning (2004:704) nodig geag vir die tegnikus om opnametoerusting 'subtiel te manipuleer', alhoewel die moontlikhede vir die manipulasie van die klank gedurende daardie tyd uiters beperk was. Hamilton (2003:349) het dit goed opgesom: "*What began as aspects of the engineering process became creative tools.*" Die debat tussen diegene wat realistiese opnames verkies en die wat bereid was om sekere opofferings in getrouheid te maak in ruil vir 'n meer aangename opname, het al voor die koms van elektriese opnames ontstaan (Wallis, 1936:41).

In populêre musiek is opname-tegnici deel van die skeppingsproses deur middel van die verskeie seinverwerking wat hulle bydra tot die finale produk (Taylor, 1979:677). Artistieke prestasies is volgens Burkowitz (1977:873) dikwels die gevolg van wat tegniese moontlik gemaak is deur die opname-tegnikus.

5.1 Die Rol van 'n Opname-tegnikus

Die opname-tegnikus se werk is om 'n versameling objektiewe faktore te kombineer tot 'n subjektiewe resultaat met die doel om te vermaak. Miller (1938:6) noem die opname-tegnikus die 'brein van die mikrofoon', met die verantwoordelikheid om die tegniese eienskappe van 'n mikrofoon aan te wend om die verlangde elemente in die klankbron op te neem. Verder is dit ook die taak van die opname-tegnikus om om die diverse musikale elemente te balanseer en spelers by te staan om solo lyne hoorbaar te maak (Eargle, 1986:491). Tydens die opname-proses, wat mikrofoonplasing, redigering en meng insluit, werk opname-tegnici jeens die toonkleur wat hulle wil bereik. In die geval waar die toonkleur onbevredigend is, is dit nodig dat die opname-tegnikus oor die tegniese kennis beskik om veranderinge aan te bring wat sal lei tot die verlangde

resultaat. Dus is die kennis van die verhouding tussen tegniese eienskappe en veranderinge in toonkleur vir die opname-tegnikus van uiterste belang (Letowski, 1985:240). Theile (2001:3) se diagram (fig. 5.1) is 'n uitstekende oorsig van al die elemente wat 'n opname beïnvloed, asook die bydraes van die verskillende rolspelers.



Figuur 5.1: Die elemente wat 'n opname beïnvloed (Theile, 2001:3)

5.2 Die Kenmerke van 'n Oortuigende Opname

"Before the days of so-called hi-fi systems there were no audio measurements. There were only natural sounds with a perfect signal-to-noise ratio, unlimited power-handling capacity, no distortion of any kind - but the number of people with a possibility of ever listening to music was rather limited. Then came hi-fi. The invention of the phonograph record undermined high fidelity, but made music universally available." (Møller, 1979a:386)

Katz (2002:100) voer aan dat die simfonie-orkester gebruik kan word as 'n verwysing van 'n goeie tonale balans vir baie genres van populêre musiek. 'n Studie deur Greiner & Eggers (1989) wat die spektrale amplitude verspreiding van verskeie opnames geanaliseer het, het tot 'n soortgelyke gevolgtrekking gekom. 'n Eksperiment¹ is beplan waar twintig lukrake populêre en klassieke werke se langtermyn gemiddelde spektra² vergelyk sou word. Op grond van die akkurate genre-klassifikasies wat gedoen word deur Aucouturier & Pachet (2003), Goto & Hirata (2004), Umapathy *et al.* (2005) en Jiang *et al.* (2002), deur slegs op spektrale verspreiding staat te maak, is daar besef dat die eksperiment nie akkurate resultate sou toon nie. Katz (2002:100) se stelling en Greiner & Eggers (1989) se navorsing wys heelwaarskynlik na 'n wyer veralgemening relatief van die balans tussen verskillende frekwensies. Bazil (2008:3) beskryf 'n goeie tonale balans as 'n gelyke verteenwoordiging van alle frekwensies regoor die spektrum. Die aanwesigheid van frekwensiebande wat uitstaan veroorsaak luistertamheid³, en plaas 'n beperking op die aantal omgewings waarin die opname suksesvol teruggespeel kan word.

5.3 Filosofieë van Balans-tegnici

In die natuur meng klanke akoesties in die lug soos in die geval van 'n simfonie-orkester waar al die instrumente gesamentlik bydra tot 'n gemeenskaplike toonkleur. In die geval van opnames word elektroniese stroombane gebruik om 'n versameling seine te kombineer tot 'n meng⁴ (Roads, 1996b:355). Eargle (2001:83) se oorsig oor 'n meng stel terselfdertyd groot uitdagings aan die tegnikus:

"Mixing audio is much like creating a deep composite of images: too much of anything can diminish the message and too little may prevent the image being seen/heard to achieve mixes that meet industry expectations."

Onderhoude met bekende balans-tegnici beklemtoon die geweldige verskeidenheid subjektiewe terme en benaderings tot 'n populêre meng. Bruce Swedien (1999:174), die tegnikus agter Micheal Jackson, sien 'n meng as 'n 'soniese beeld', 'n tipe kunswerk waar die tegnikus 'n mate van vryheid het oor die estetiese rigting wat ingeslaan word. Pip Williams

¹Sien Addendum C.5 vir die volledige eksperiment.

²Langtermyn gemiddelde spektra vertoon die gemiddelde frekwensieverspreiding oor tyd (Pauk, 2006) (Bauer, 1970).

³Engels: *Listening fatigue*

⁴'n Meng word deur Huber & Runstein (1997:321) gesien as 'n artistieke proses waar panorama-, effenaar-, en volume verstellings aan individuele kanale gemaak word om 'n gekombineerde finale meng te vorm.

(2006:104) van *Status Quo* en *Moody Blues* faam sien 'n meng as 'n uitvoering, iets wat nooit twee keer dieselfde sal wees nie.

Pragmatici soos Alan Parsons (2006:104), opname-tegnikus vir die groepe die BEATLES en *Pink Floyd*, fokus op spektrale balans. Ander opnames word as verwysings gebruik tydens die mengproses om veral die hoë en lae frekwensies inhoud te bepaal. Spike Stent (2006:106) wat gewerk het op projekte van *Oasis*, *Björk*, en die *Spice Girls*, fokus baie op realisme met 'n 'tasbare teenwoordigheid' van die klank. Bob Clearmountain (2006:107) wat gewerk het op die *Rolling Stones* en *Roxy Music* sien populêre musiek as vokaal-gedrewe en poog om die stem en lirieke 'n 'sentrale en dominante posisie' te gee. Clearmountain maak ook melding daarvan dat daar nie 'n spesifieke metode gevolg word nie, die metode verskil afhangende van die materiaal.

(Izhaki, 2008:9) beskryf die verskille in benadering tot die meng van verskillende genres toe aan die verskille in emosie wat die betrokke musiek verlang. 'n Studie deur Bitzer *et al.* (2008) het bevind dat tegnici op dieselfde bronmateriaal wyd-uiteenlopende keuses maak ten opsigte van die effening wat toegepas word met die doel om die klank natuurlik en gebalanseerd te kry. Wöhr *et al.* (1991:623) se omvattende doelwit vir 'n opname is:

"Besides the artistic content and the quality of the performance, essential ingredients of a good recording are transparency, presence, the fidelity of tone color of the various instruments, as well as localization accuracy and directional stability of the individual sound sources."

5.4 Verband tussen Objektiewe Metinge en Subjektiewe Terminologie

Aangesien die toonkleur 'n baie belangrike rol speel in enige opname is dit nodig vir tegnici om dit in detail te kan beskryf. Dit is uiters moeilik om akoestiese eienskappe in woorde uit te druk. Die uitdaging is nie uniek in die wêreld van klank nie, in wynproe word daar ook allerlei terme gebruik om te poog om die smaak te beskryf. Dit wil blyk of daar min alternatiewe is as die 'vae metaforiese' terme soos warm, donker en skerp om klank te beskryf (Porcello, 2004:734).

5.4.1 Subjektiewe Terme vir die Beskrywing van Klank

'n Woordeskat wat die spesifieke eienskappe van klank betekenisvol en akkuraat beskryf ontbreek volgens Moylan (2002:87) Ter voorbereiding van hierdie studie is daar gekyk na hoe verskeie navorsers klank van

‘n goeie meng subjektief beskryf. Griesinger (2005:11) fokus op ‘helderheid’ (as die teenoorgestelde van ‘modderigheid’), ‘diepte’ en ‘ineensmelting’⁵. Franz (2003:236) praat van lae frekwensies wat sterk maar beheerd is, middel-frekwensies wat goed versprei is oor die verskillende instrumente, en hoë frekwensies wat sterk is maar ‘maklik is om na te luister’. Gibson (2002:11) beskryf die gevolg van ‘n oorfloed middelfrekwensies as ‘n ‘blikkerige’ klank, terwyl die afwesigheid daarvan ‘n ‘hol en leë’ klank het. Toole (1985:31) het die volgende definisies verskaf aan persone wat deelneem aan luistertoetse om die kwaliteit van luidsprekers te evalueer:

- **Duidelikehid/Definisie** - Verwys na die vermoë om verskillende instrumente en stemme in digte verwerkings te hoor. Die totale golfkruin van individuele note moet helder en herkenbaar wees.
- **Sagtheid** - Die toonkleur van hoë frekwensie klanke, met die ideaal van klank waarvan die hoë frekwensies nie te skril of skerp is nie.
- **Volheid** - Die verhouding tussen lae frekwensie klank tot die middel- en hoër frekwensies. Die afwesigheid van laer frekwensies lei tot klank was as ‘dun’ ervaar word.
- **Helderheid** - Die verhouding tussen hoë frekwensies en die middel- en lae frekwensies. Die ideaal is klank wat nie te skerp of te dof is nie.
- **Aangenaamheid** - ‘n Oorsigtelike beskouing van die aangenaamheid van die klank en die afwesigheid van elemente wat pla.
- **Getrouheid** - ‘n Oorsigtelike beskouing van hoe naby die gereproduceerde klank kom aan die idee van ‘oorspronklike of perfekte’ klank.

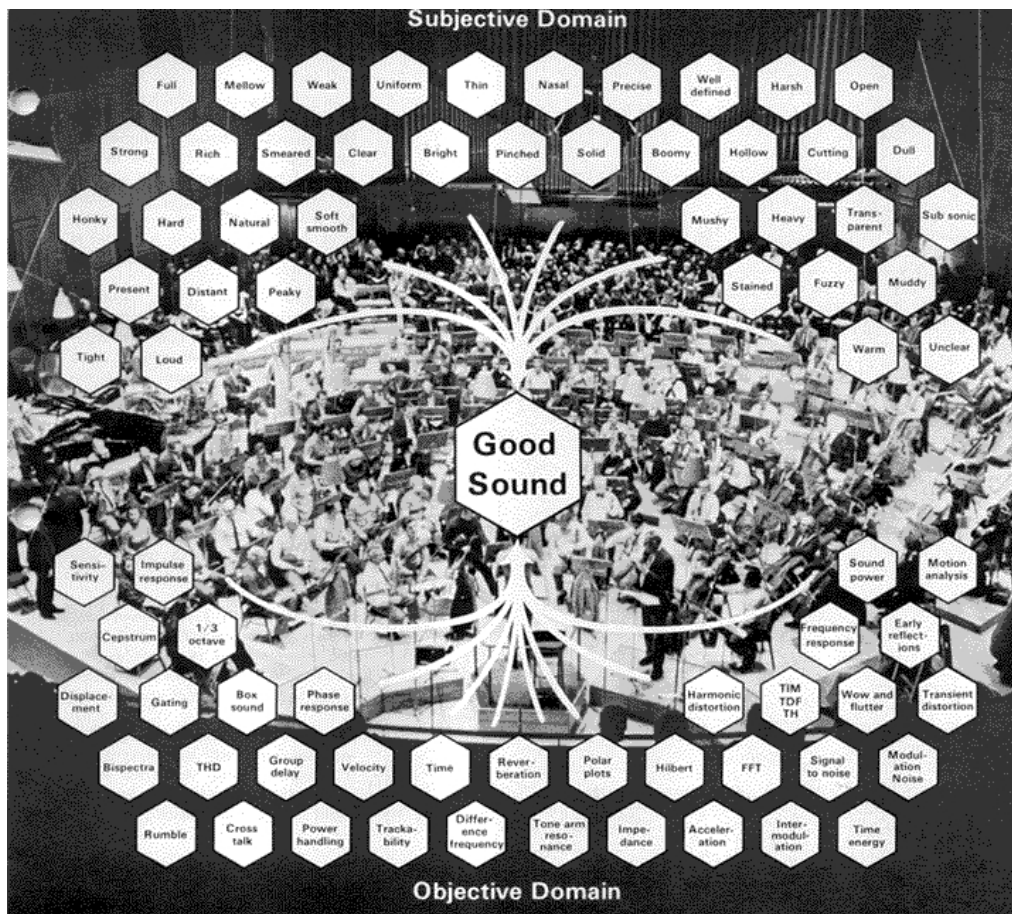
5.4.2 Verband tussen Subjektiewe Terme en Metinge

Verskeie onsuksesvolle pogings is al aangewend om subjektiewe terminologie in objektiewe data te vertaal (Wuttke, 1999:2). Volgens Zaza (1991:9) is klank “*abstract, exists in time, and is difficult to pin down for scrutiny.*” Heyser (1974) het opgemerk dat wat gehoor word nie altyd ooreenstem met wat gemeet word nie veral ten opsigte van vervorming. Dit word nie toegeskryf aan die feit dat dit nie gemeet kan word nie, maar dat daar die verkeerde eienskappe, wat in die elektroniese sein gemeet word, verbind word met dit wat gehoor word. Møller (1979a:386) voel dat dat daar ‘n verband getrek kan word tussen objektiewe meting en subjektiewe eienskappe. Ses tereine⁶ is geïdentifiseer: een-derde oktaaf,

⁵Engels: *Blend*

⁶In teorie is daar ‘n oneindige aantal eienskappe wat ‘n invloed het, maar in die praktyk kan dit verminder word tot ses eienskappe (Møller, 1979c:566).

energie-tyd, vrye-veld, bas intermodulasie vervorming (BIM)⁷, twee-toon bestendige-toestand vervorming, en oorgangsverskynsel intermodulasie vervorming⁸. Møller (1978:1) het 'n grafiese voorstelling geskep (fig. 5.2) waarin subjektiewe en objektiewe elemente vergelyk word.



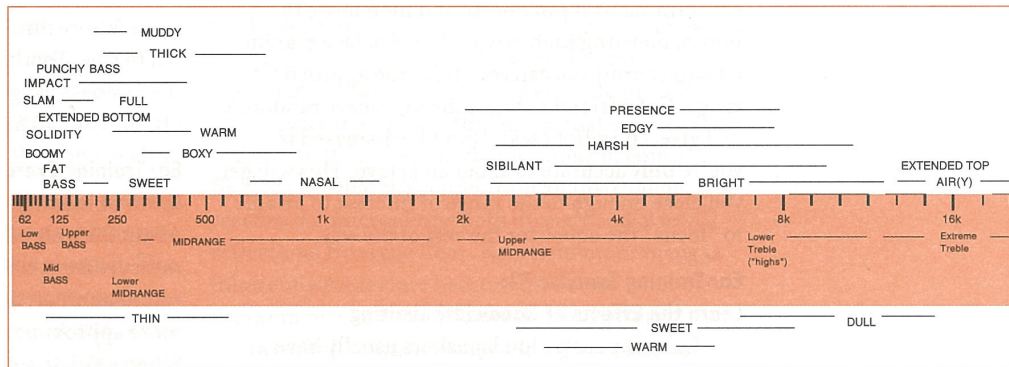
Figuur 5.2: Vergelyking van objektiewe eienskappe en subjektiewe beskrywings

Katz (2002:43) het gepoog om subjektiewe terme wat algemeen gebruik word in verband te plaas met frekwensies in die volgende voorstelling (fig. 5.3). Toename in frekwensie word bo die staaf gewys en

⁷Bas intermodulasie vervorming (BIM) is subsoniese resonansie wat probleme veroorsaak deur frekwensies in die gehoorspektrum te moduleer (Møller, 1979b:496).

⁸Oorgangsverskynsel intermodulasie vervorming (OIM) is vervorming wat veroorsaak word deur die terugvoer in 'n kragversterker wanneer die oorgangsverskynsel van die kragversterker stadiger is as die oorgangsversynsel van die voorversterker (Otala, 1970:234). Sien ook Leinonen *et al.* (1976) en Lagadec & Weiss (1981)

vermindering onder. Meer terme bestaan vir die styging van frekwensies in sekere bande as vermindering.



Figuur 5.3: Subjektiewe frekwensie beskrywing

5.5 Natuurgetrouheid en Populêre Opnames

"The term 'naturalness' symbolizes a multitude of characteristics inherent in a recording that reveals the full immersive presence of music using a transparent medium. Such recording beams with musicality: detailed presentation of musical interactions between players, realism of place and time, sensation of being included in the original (or synthetic) acoustical space where music is performed." (Woszczyk, 2003:1)

Wanneer die natuurgetrouheid van opnames ondersoek word vra Kim *et al.* (2006:2): 'Natuurlik vir wie?' Aangesien die opname van populêre musiek wegbeweeg vanaf die tradisionele 'illusie van 'n konsertsaal' Moorefield (2006:43), is dit nodig om die natuurlikheid van populêre opnames te ondersoek. Volgens Rumsey (2001:153) is dit nodig om die 'indruk' van natuurlike spasies, posisies van bronne en diepte te skep sonder dat die presiese druk en gangvektore van die klankgolf in elke moontlike luisterposisie herskep word. Theile (1991:143) beskryf die strewe na natuurlikheid as 'n kompromis tussen estetiese praktyk en mikrofoon-teorie:

"optimization by the sound engineer, will be the better, the more flexible the stereophonic recording technique is and the more accurately the psychoacoustic principles are

understood and taken into account from the technical and artistic points of view."

Woszczyk (2003:1) se definisie gaan verder as bloot fisiese eienskappe:

"In over a century of development of sound recording technology, the principal goal has been to find a method of representing performed music with the finest acoustic detail and perceived accuracy. The term 'naturalness' symbolizes a multitude of characteristics inherent in a recording that reveals the full immersive presence of music using a transparent medium. Such recording beams with musicality: detailed presentation of musical interactions between players, realism of place and time, sensation of being included in the original (or synthetic) acoustical space where music is performed. The high-resolution recording engages listeners with dynamic power and acoustic nuance of sound, precision of timing, and all details of spatial-temporal-spectral fabric of music."

Volgens Hilliard (1985:274) is daar besef met die opneem van die eerste filmklankbane in 1928, dat 'n plat weergawe⁹ reproduksie van die menslike stem nie natuurlik geklink het nie en dat daar gekompenseer moet word vir die menslike oor se verskille in sensitiwiteit teen verskillende frekwensies.¹⁰ Katz (2002:121) het opgemerk dat baie opname-tegnici nie meer natuurlike onsaamgepersde klank ken nie. Kompressors is aanvanklik gebruik om te kompenseer vir die oordrewe dinamika van klankgolwe, veroorsaak deur mikrofone naby aan die klankbron te plaas, maar is later al hoe meer kreatief aangewend in moderne musiek met 'n klem op ritme. 'n Baie belangrike opmerking deur Hamasaki *et al.* (2005) is dat in 'n konsertsaal die klankveld relatief uniform is in al die sitplekke, anders as in die geval van 'n klankreproduksie wat oor 'n definitiewe optimum posisie beskik. Alhoewel populêre opnames nie poog om 'n realistiese klankbeeld te herskep nie, is dit van belang dat die klankbeeld wat geskep word 'n sensasie van 'wydte' en 'diepte' moet skep (Hamasaki *et al.*, 2006). Hierdie sintetiese klankveld behoort volgens Nakayama *et al.* (1971:744) tot die 'realm van kuns'. Die uitdaging vir tegnici is om 'n wye kennis te bekom van die fisika van klank en die elektronika wat gebruik word om dit op te neem, om sodoende die opnamekuns te beoefen.

Rumsey (2002:652) voel dat hedendaagse klanktoerusting so akkuraat is in terme van frekwensie-oordrag, ruisvloer en frekwensie bandwydte

⁹Engels: *Flat response*

¹⁰Sien Fletcher & Munson (1933:82)

dat dit in meeste gevalle die perke van die menslike gehoor oorskry. Nogtans verskil pad vanaf die instrument na die oor via 'n opname-medium grootliks vanaf die direkte pad na die oor (Olive & Toole, 1989b:1). Benade (1985:218) skryf dit toe aan die ekstra kamer-oordragfunksie en tipe klankbron wat 'n opname tot hierdie pad toevoeg. Olson (1988:390) het die oorspronklike objektief van klankreproduksie beskryf as 'n perfekte oordragfunksie tussen die in- en uittree van 'n reproduksie stelsel, wat meer onlangs verskuif het na 'n 'ideale oordragfunksie', waar die verhouding tussen die in- en uittree seine verstel word gebaseer op subjektiewe aspekte soos 'realisme' en 'emosionalisme'. Burkowitz (1969:3) se gevolgtrekking is:

"Now, what then does 'recording' mean if not only the reception of sound and registration of its waveforms? A good explanation can perhaps be found if it is realized that music, the medium we are considering here, is indeed physically represented by waveform signals but, and that is more important, in its artistic and creative content is represented by non-electronic parameters such as temperament, attack, precision, mood, emotion etc. That means, the very content of a musical signal is not simply its physical property but the non-physical modulation it carries like a carrier wave. The inherent task of transporting the musical content, to wit the non-physical modulation, into the listeners' perception primarily implies, therefore, catching, preserving and recreating of the artistic expression. This is in fact what artists expect when respectfully or doubtfully looking through the armored window into the control booth where mystical, mechanistic operations pounce upon their artistic action."

Monofoniese Tegnieke

“**M**ONO was a democratic medium. It sounded equally bad over a large listening area.” (Griesinger, 2001:2)

Nogtans is die aanpasbaarheid, eenvoud, reik en teikenakkuraatheid van monofoniese mikrofoonplasing sonder gelyke en het dit steeds 'n groot rol te speel in moderne opnametoepassings (Woszczyk, 1991:142). Volgens Pizzi (1984:2) word baie van die stereofoniese informasie in pop-musiekopnames verkry deur die panoramiese plasing van monofoniese bronne, soos 'n ontleding van Long (2005) se verfilmde opnamesessie wys watter bronne in mono en stereo opgeneem is:

Mono	Stereo
Individuele tromme	Oorhoofse tromme
Elektriese kitaar	Sintiseerder
Akoestiese kitaar	
Baskitaar	
Stem	

Tabel 6.1: Mono- en stereo bronne in populêre opnames

Die plasing van mikrofone voor “n artistieke bron’ is volgens Burkowitz (1977:877) “a matter of eyesight and intuition”. Boudreau et al. (2007:5) sien geen ‘ideale wyse waaop ‘n mikrofoon geplaas kan word nie’ en mikrofoontegniek berus tot ‘n groot mate op ‘persoonlike smaak’, maar die uitkoms wat begeer word kan vinniger verkry word deur te beskik oor die basiese kennis van die eienskappe van mikrofone, klankvoortplanting van musiekinstrumente, asook akoestiek. Volgens Dyar (1961:49) is die belangrikste reël van mikrofoonplasing dat ‘n toetsopname gemaak moet word en daar krities na die resultaat geluister word.

Nisbett (1974:90) gebruik die term 'mikrofoonbalans' as 'n breër beskrywing van mikrofoonplasing. Die doelstellings van hierdie 'balans' is om te verlangde klankbron op te vang sonder ongewenste geraas, dit sluit in die keuse van die tipe mikrofoon met die mees geskikte poolpatroon en frekwensie eienskappe in, asook die hoeveelheid mikrofone wat op 'n bron gebruik word.

6.1 Invloed van die Mikrofoon

6.1.1 Poolpatroon se Invloed

Vir die eerste opname-tegnici was een van die belangrikste vaardighede om te weet waar om die stemme en instrumente relatief tot die opname-horing te plaas (Horning, 2004:706). In 'n opname situasie word die oordragfunksie tussen die klankbron en die mikrofoon bepaal deur die afstand en oriëntasie tussen die mikrofoon se poolpatroon en die instrument (Braasch, 2005b:2).

Die hoof rede vir die gebruik van gerigte mikrofone is om gewenste klanke op te tel en ongewenste klanke soos nagalm en ruis, te verwerp (Olson, 1967:420). Alomgerigte mikrofone word meestal gebruik in ruimtes waar agtergrondruis en en akoestiese kringfluite nie teenwoordig is nie (Butler, 1989:2).

'n Enkele drukmikrofoon meet die verskille lugdruk by 'n gegewe punt, maar nie die rigting van die energievloei nie (Rossing *et al.*, 2004:407). Daarom is daar 'n verskil in reaksie tussen 'n druk- en drukgradiënt mikrofoon in 'n klankveld, aangesien dit verskillende hoeveelhede van die druk- en gangkomponente registreer. Die vektorkomponente van 'n klankbron beïnvloed 'n gerigte mikrofoon, en die rigting waarin dit gemik is, baie meer as 'n alomgerigte mikrofoon (Olive & Toole, 1989b:9). Poolpatrone verskil ook ten opsigte van frekwensies, en baie gerigte mikrofone vertoon alomgerigte eienskappe teen lae frekwensies (Putnam, 1980:3) (Woszczyk, 1984:507). Gerigte eienskappe van 'n mikrofoon word volgens Davis & Patronis (2006:207) betekenisloos in 'n omgewing met baie nagalm. Die mikrofoon se gerigtheid is afhanklik van die akoestiese ruimte. Wanneer dit verder as die kritiese afstand¹ gebruik word, verloor 'n mikrofoon die vermoë om te diskrimineer een ongewenste klankbronne en refleksies.

Om dieselfde verhouding tussen direkte klank en nagalm te verkry op alomgerigte en niervormige poolpatrone is dit nodig om om die alomgerigte mikrofoon met 'n afstandsfaktor van $\frac{1}{\sqrt{3}}$ nader aan die bron te plaas (Wuttke, 1985:1).

¹Die kritiese afstand (D_c - *critical distance*) is die punt waar die direkte klank en die nagalm in 'n vertrek oor gelyke intensiteit beskik (White & Louie, 2005:331).

6.1.2 Invloed van Kapsule Afmetinge

As bloot die akkuraatheid van oordrag tussen groot- en klein diafragma mikrofone vergelyk word, besit mikrofone met klein diafragmas verskeie voordele Wuttke (1999:6). Tabel 6.2 vergelyk die verskille soos afgelei uit die werk van Bartlett (1986), Holman (1997:70) en Peus (2004:4). 'n Akkurate oordragfunksie is egter nie noodwendig gewens nie, en die 'warm' klank wat veroorsaak word deur die akoestiese skaduwee wat groot diafragmas oor die klankveld werp bly gewild (Rumsey & McCormick, 2009:55).

	Klein diafragma	Groot diafragma
Eieruis	Hoër	Laer
Sensitiwiteit	Laag	Hoog
Klankdruk hantering	Hoog	Laer
Frekwensie-oordrag	Wyd	Nouer
Invloed op Klankveld	Klein	Groot
Dinamiese-reik	Hoër	Laer

Tabel 6.2: Vergelyking van groot- en klein diafragma mikrofone

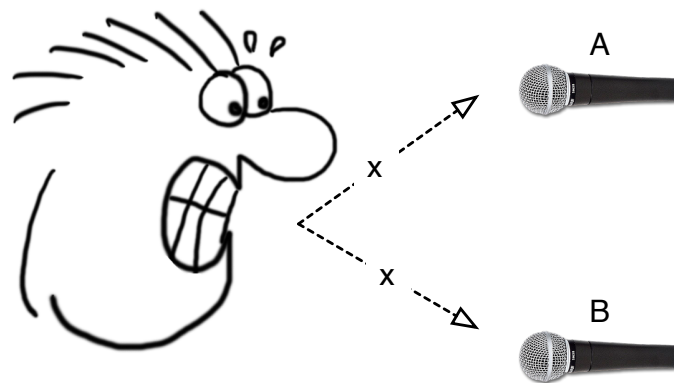
6.1.3 Diffraksie

Sodra 'n mikrofoon in 'n klankveld geplaas word, versteur dit daardie klankveld. Verstrooide klankgolwe veroorsaak deur die versteuring van die klankveld deur die teenwoordigheid van die mikrofoon versprei in alle rigtings en veroorsaak interferensie met die inkomende klankgolwe. Dit gebeur veral wanneer die grootte van die mikrofoon gelyk of groter as die golflengte van die klank is, dus vind die meeste interferensie plaas teen hoër frekwensies (Woszczyk, 1989:2).

6.2 Verskille in Toonkleur Relatief tot die Bron

Musiekinstrumente projekteer klank op 'n komplekse wyse waar verskillende frekwensies in verskillende rigtings straal (Woszczyk, 1979:2). Die meeste instrumente genereer veral lae frekwensies alomterig (Woszczyk, 1984:507). Meyer (1972) se navorsing oor die klankstraling van viole bevestig dat die stralingshoek van die verskillende frekwensies van 'n instrument grootliks verskil. Die afstand het dus 'n groot invloed op

die spektrale balans wat die luisteraar waarneem (Daniel, 1993:3). Die spektra van die verskeie komponente kombineer tot 'n eenheid op 'n gegewe afstand vanaf die instrument (Bartlett, 1981:726). Twee eksperimente² is gedoen wat die verskil in toonkleur relatief tot die posisie van 'n klankbron te ondersoek. 'n Sanger (figure 6.1 & 6.2) en 'n luidsprekerkeël (figure 6.3 & 6.4) is elk met twee mikrofone in verskillende posisies, maar op dieselfde afstand van die klankbron opgeneem. In die geval van die sanger word die verskil in toonkleur relatief tot die neus ondersoek, en in die geval van die luidsprekerkeël die verskil in toonkleur tussen die kern en die rand van die keël.

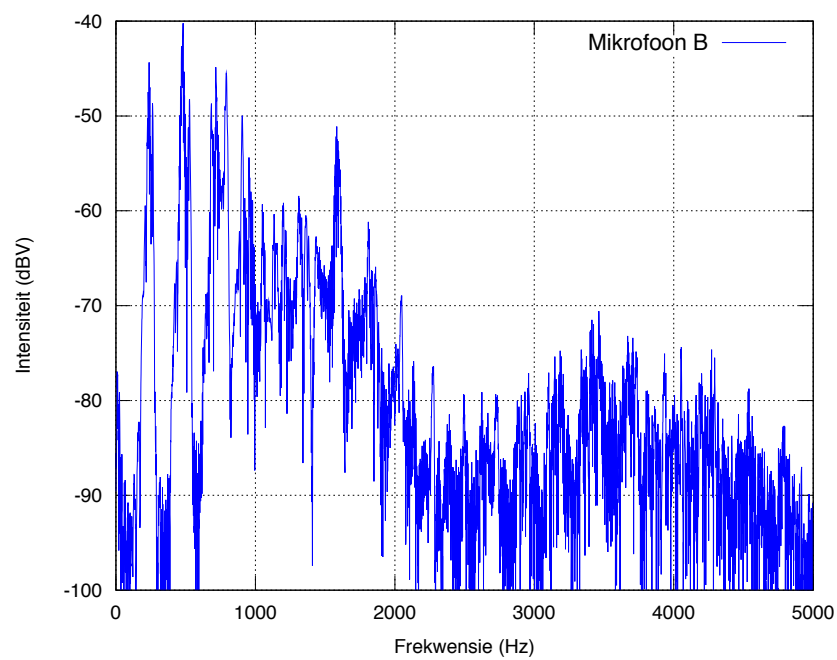
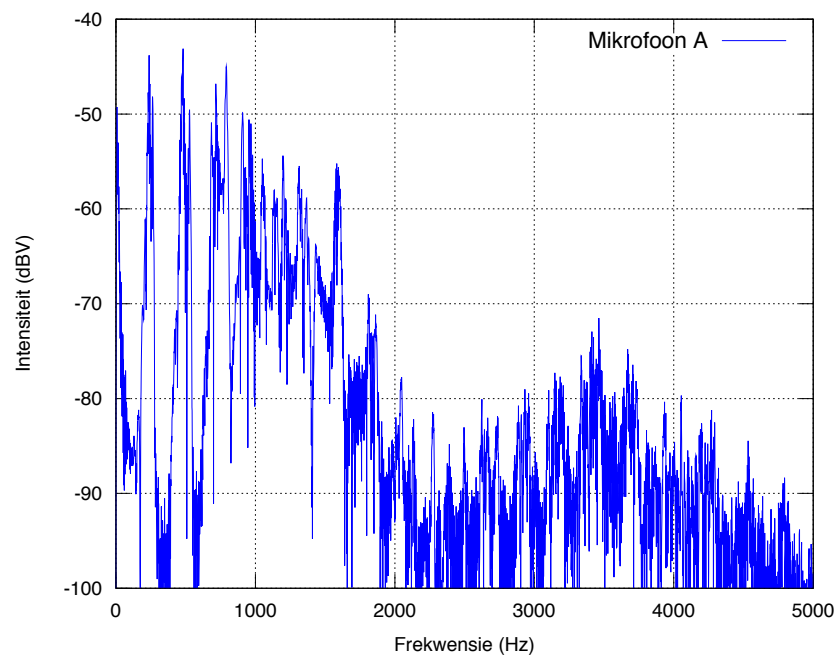


Figuur 6.1: Verskil in toonkleur relatief tot sanger se neus

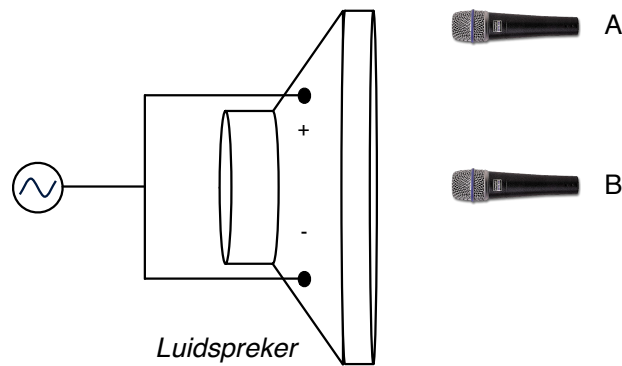
Waar 'n mikrofoon te naby aan 'n bron geplaas word, word die opname beperk deur 'n 'enkelpunt spektrum' van die totale akoestiese uit-tree van die bron (Woszczyk, 1979:2). Die hoek waarteen die mikrofoon geplaas word het ook 'n groot invloed op die toonkleur aangesien die stralingshoek van die verskeie frekwensies van 'n instrument verskil (Bartlett, 1981:726).

Die mikrofoonplasing relatief tot 'n bron is volgens Woszczyk (1979:2) dit wat 'n opname-tegnikus die geleentheid gee om die klank van die instrument op 'n artistieke wyse te vertolk. Harley (2004:43) sien die suksesvolle opname van 'n bron as 'n sein waar die lae-, middel-, en hoë frekwensies alles teenwoordig is sonder dat die een die ander oorweldig. Wuttke (1999:4) sien die posisie van die mikrofoon ten opsigte van die instrument as baie belangriker as die tipe mikrofoon wat gebruik word,

²Sien Addenda C.6 en C.7 vir die volledige eksperimente.



Figuur 6.2: Frekwensieverskille tussen mikrofone bo en onder die neus



Figuur 6.3: Oorsig van luidsprekerkeël eksperiment

en dat daar 'n optimale posisie³ vir mikrofoonplasing bestaan vir plasing naby aan die bron.

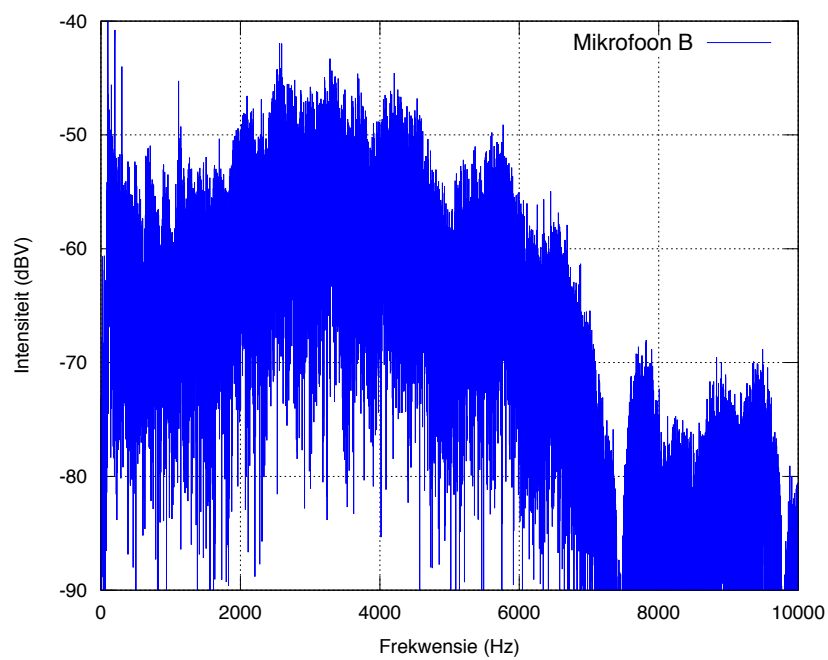
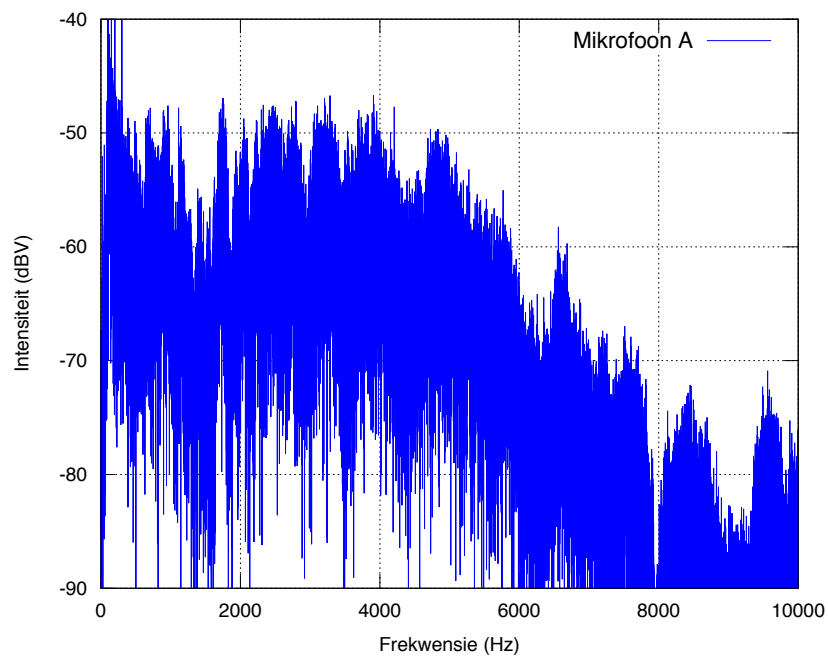
6.3 Die Invloed van Afstand

Die koms van meerkanaal opnames het die luuksheid van veelvoudige, individuele stemme in opnames teweeggebring. Om die bes moontlike akoestiese isolasie te verkry is mikrone baie nader aan die bronne geplaas as in die verlede (Moulton, 1986:162). Die lae sein-tot-reis verhouding van die eerste meerkanaal opnametoerusting het tegnici verder gedwing om mikrone so na as moontlik aan die bron te kry (Billingsley, 1989). Mikrone wat baie naby aan die bron geplaas word beskik oor baie meer hoë-frekwensie energie as mikrone wat verder geplaas word. Die verskil wat deur afstand veroorsaak word kan tot tussen 3 en 6dB wees teen 10kHz (Bartlett, 1983:7).

Veranderinge in die klankspektrum kommunikeer sekere informasie oor die afstand vanaf die bron aan die luisteraar. In populêre musiek word daar baie gebruik gemaak van die tegniek om 1–5kHz te vermeerder om die persepsie van 'n bron wat baie naby aan die luisteraar is te skep (Borwick, 1977:694).⁴ Nog 'n verdere uitdaging is dat die klankspektrum, en enige persepsionele gevolgtrekkings wat die luisteraar maak, ook afhanklik is van die vlak waarop die opname teruggespeel word. Lae- en hoë-middelfrekwensies is geneig om te verdwyn teen laer vlakke, wat 'n invloed kan hê op die persepsie van afstand (Bartlett, 1997:7).

³Die sogenaamde "sweet spot" (St. James, 2004:30).

⁴Brixen (2000) wys daarop dat daar in die filmwêreld daar 'n teenstrydigheid is tussen die afstand van die akteurs op die skerm en die spektrum van hulle stemme.



Figuur 6.4: Verskil in toonkleur tussen kern en rand van luidsprekerkeël

6.3.1 Nabyheids-effek

Die nabyheids-effek⁵ is 'n toename in lae-frekwensie-oordrag wanneer 'n gerigte mikrofoon naby aan die klankbron geplaas word. Die toename in lae frekwensies kan tot 16dB behels wanneer 'n mikrofoon nader as twee voet aan die bron geplaas word (Davis & Jones, 1989:125).⁶ Die teenoorgestelde, 'n afname in lae-frekwensie-oordrag kom ook voor waar die mikrofoon vër van die bron af is. (Wuttke, 1985:3) Nabyheids-effek is 'n spesifikasie wat nie deur die meeste vervaardigers van mikrofone gepubliseer word nie. (Peus, 1997:9)

'n Eksperiment is gedoen om die nabyheids-effek te ondersoek, waar twee mikrofone op verskillende afstande van 'n luidspreker geplaas is (fig 6.5). Pienk ruis is deur die luidspreker gespeel, opgeneem deur die mikrofone en 'n Fourier-analise van die twee seine van die mikrofone is uitgestip (fig. 6.6).



Figuur 6.5: 'n Ondersoek van die nabyheids-effek

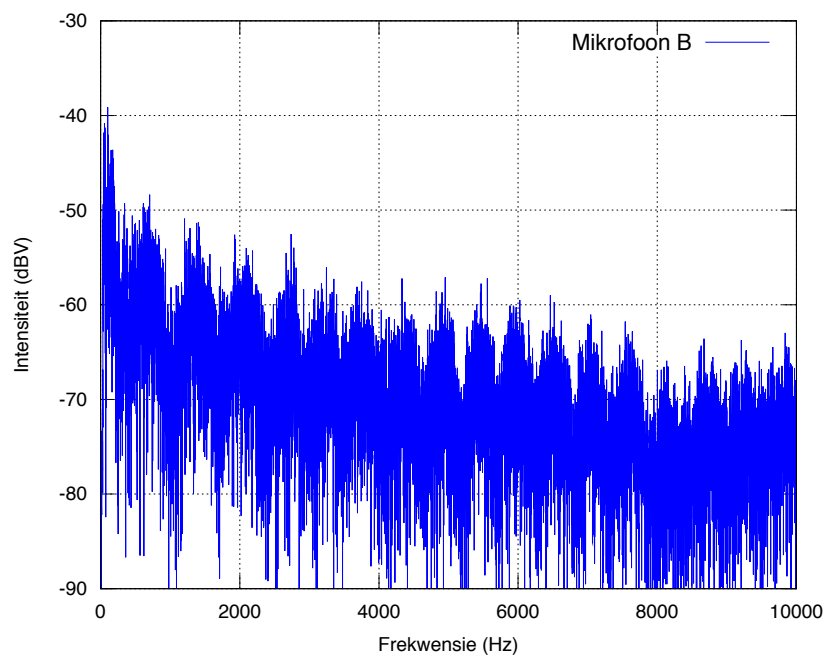
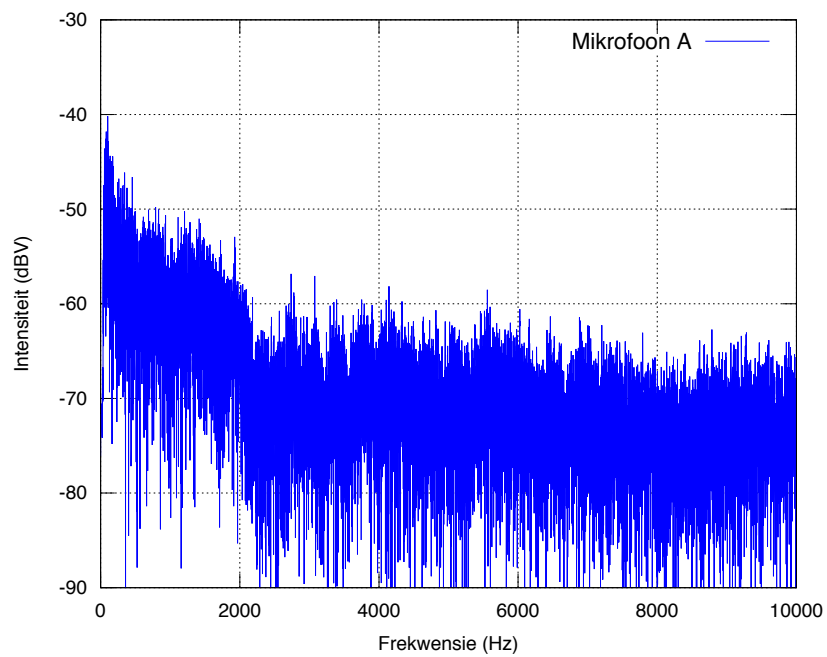
Die klankgolwe wat tipiese klankbronne opwek is nie bloot platvlak of sferies van aard nie, maar bestaan uit 'n komplekse versameling van beide komponente (Bartlett, 1997:11). Nader aan die bron is die klankgolwe wat voortplant vanaf die bron meer sferies van aard en verder weg van die bron raak dit platvlak (Milanov & Milanova, 2000, 2001).⁷

Drukgradiënt mikrofone buit die fase-verskil tussen die voor-en agterkant van die diafragma uit. Teen hoër frekwensies is die fase verskil baie meer as lae frekwensies. Wanneer daar naby die bron 'n mikrofoon geplaas word ervaar die mikrofoon drukverskille oor die diafragma-area as gevolg van die sferiese golf fronte. Sedert die fase-verskille baie min is teen lae frekwensies dra hierdie drukverskille min by tot die uitree van laer frekwensies (Rumsey & McCormick, 2009:51).

⁵Engels: *Proximity effect*

⁶Josephson (1999:2) stel die afstand vas as binne 'n halwe golflengte

⁷Millot *et al.* (2007) verskil van die siening dat die nabyheids-effek deur die sferiese golf fronte veroorsaak word en voel dat daar nie genoeg kennis bestaan van die fisiese eienskappe van klankgolwe naby die bron nie.



Figuur 6.6: Resultate van die ondersoek van nabyheids-effek

Opname-tegnici en kunstenaars gebruik die nabyheids-effek om die toonkleur van die bron positief te beïnvloed (Butler, 1989:4). Soos 'n interne memorandum van die *British Broadcasting Commission (BBC)* in 1936 wys, was daar verskille in die wyses waarop Amerikaanse en Britse kunstenaars mikrofone gebruik het, wat die *BBC* genoodsaak het om 'n 'spesiale lintmikrofoon te voorsien aan Amerikaanse kunstenaars wat gewoon is om baie na aan die mikrofoon te sing' (Briggs, 1995:109). Die meeste stemme in popmusiek het as gevolg van die gebruik van die nabyheids-effek meer laer frekwensies teenwoordig as in die natuur (Katz, 2002:47).

6.3.2 Ruimtelikheid

'n Studie deur Ekman & Berg (2006) het bevind dat musikante en opname-tegnici se menings grootliks verskil ten opsigte van die verlangde afstandpersepsie. Musikante verkies 'n sein wat verder van die bron opgeneem is as opname-tegnici. 'n Mikrofoon se sensitiwiteit teenoor die verskil tussen die direkte klank en nagalm hang van verskeie veranderlikes af. Dit sluit onder meer in die gerigtheid van die klankstraling van die instrument, die posisie van die instrument relatief tot die mikrofoon en omgewing, die gerigtheidseienskappe van die mikrofoon, die afstand tussen die mikrofoon en instrument, asook die akoestiese eienskappe van die vertrek. (Woszczyk, 1979:6) Wanneer die verhouding tussen die direkte klank en die nagalm bo 1000Hz minder as 2dB is word die klank as vër ervaar. (Griesinger, 2006:11)

Populêre musiek word tradisioneel vanuit 'n nabye perspektief opgeneem en ruimtelikheid word deur middel van verskeie prosesse gesimuleer (Adelman-Larsen & Thompson, 2007). Die beskikbaarheid van digitale nagalm-eenhede bied die voordeel dat die hoeveelheid nagalm deur die tegnikus bepaal kan word in plaas van die plasing van die mikrofoon (Moorer, 1979:13). Digitale nagalm kan so verstel word dat die meeste nagalm onder 1000Hz voorkom sodat instrumente se 'teenwoordigheid' behoue kan bly, terwyl daar steeds genoeg nagalm op die sein kan wees (Griesinger, 2006:11).

6.3.3 Sein-tot-ruis Verhouding

Verskeie bronne van geraas is 'n uitdaging vir die opname-tegnikus. Dit sluit in omgewingsruis soos veroorsaak deur wind en verkeer en strukturele ruis veroorsaak deur waaiers en lughturbulensie van lugversorgingstelsels (Cann & Hoover, 2002:3-23).⁸

⁸Ruis kan verminder word deur die bronne van ruis soveel as moontlik te demp deur absorpsie en deur mikrofone te monteer in skokbrekers sodat vibrasie vanaf die omgewing nie na die mikrofoon oorgedra word nie (Dyar, 1961:51).

Om die invloed van afstand op die sein-tot-ruis verhouding te ondersoek is die volgende eksperiment gedoen waar twee mikrofone teen verskillende afstande vanaf 'n klavier geplaas is (fig. 6.7). Sou mikrofoon A en B 'n uniforme ruisvlak registreer teen gelyke aanwins (die ruis is dus uniform versprei deur die lokaal), sal daar 'n verskil wees in die sein-tot-ruis verhouding as gevolg van die afname in intensiteit relatief tot die bron soos voorspel deur die omgekeerde-vierkantswet. In hierdie geval was die ruisvlak uniform (fig. 6.8). In gevalle waar daar 'n spesifieke gelokaliseerde ruisbron teenwoordig is sal die afstand van die mikrofoon vanaf die bron van die ruis die grootste faktor in die sein-tot-ruis verhouding wees.



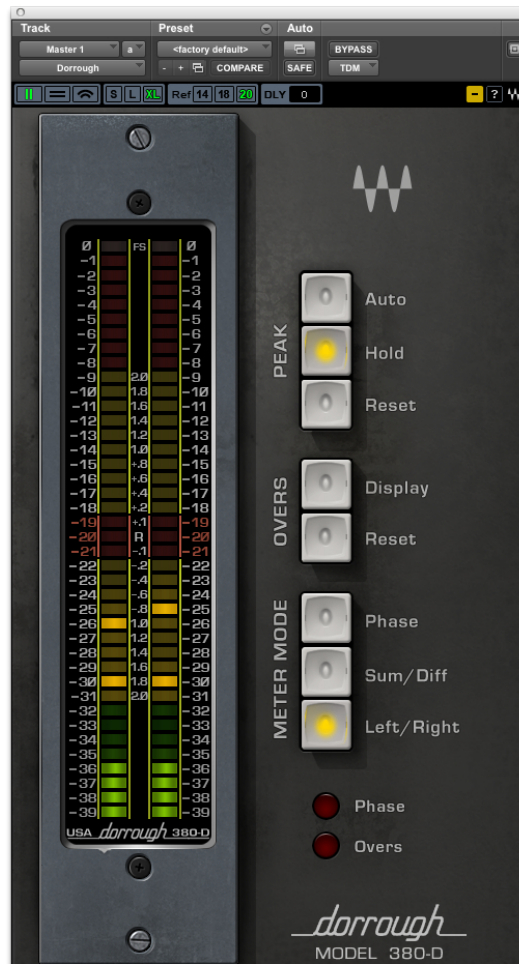
Figuur 6.7: Die verhouding tussen sein-tot-ruis en afstand

6.4 Invloed van Polariteit en Fase

'n Toename in lugdruk sal die diafragma van 'n drukmikrofoon na binne verbuig en 'n positiewe elektriese sein tot gevolg hê. Hierdie selfde sein sal by die luidspreker die keël na buite verplaas om 'n positiewe akoestiese puls tot gevolg te hê (Ballou, 2009a:44). Wanneer twee seine met verskillende polariteit gesommeer word, sal dit lei tot die kansellering van verskeie frekwensies (Yoder, 2000:176). Kamfilter lineêre vervorming is die gevolg van twee seine, waarvan die een 'n vertraagde, gefiltreerde of afgeskaalde weergawe van die ander is (Brunner *et al.*, 2007:1).

6.4.1 Invloed van Reflektiewe Oppervlakke

Enige vertrek beskik oor 'n paar diskrete refleksies en resonansies wat 'n klanksein beïnvloed. Die posisie van 'n mikrofoon in 'n vertrek speel 'n groot rol op die invloed wat die betrokke refleksies en resonansies op 'n sein sal hê (Noxon, 1990:1). Die vloer is die grootste en mees reflektiewe oppervlak naby 'n instrument, en die fase-verskil tussen die direkte en reflektiewe seine veroorsaak 'n kamfilter-effek (Woszczyk, 1979:8). 'n Eksperiment (fig. 6.9) is gedoen waar pienk ruis deur 'n luidspreker

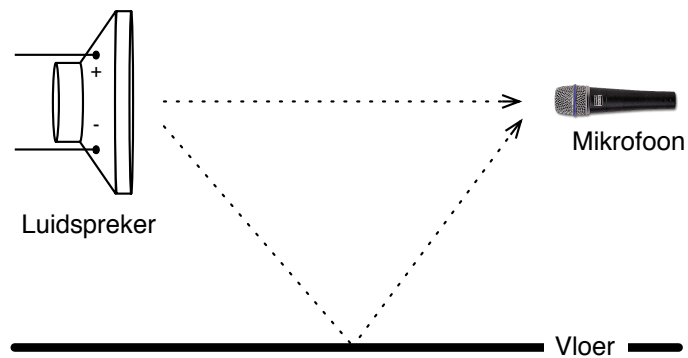


Figuur 6.8: Ruisvlakke gemeet op afstand x (A) en $2x$ (B)

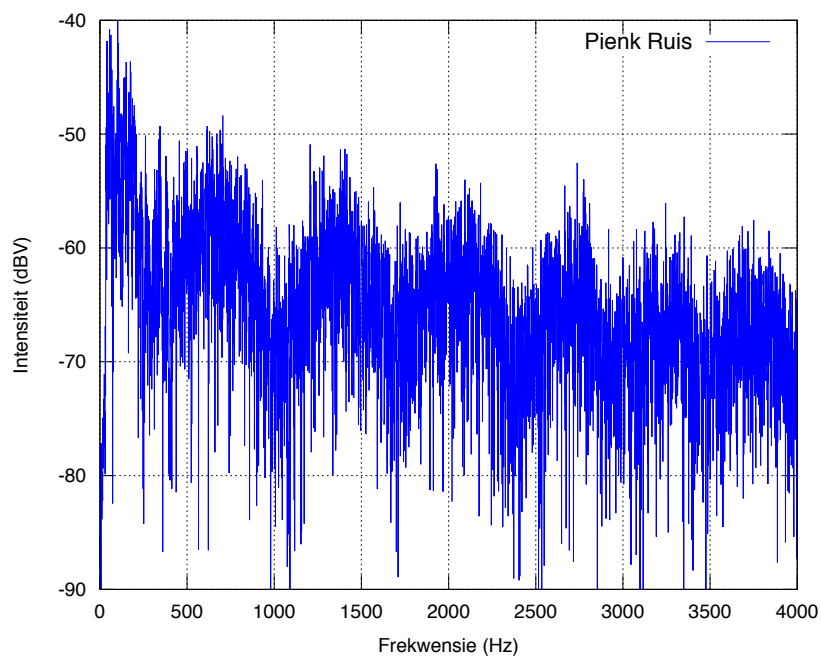
gestuur is en deur 'n mikrofoon twee meter van die bron opgeneem is. Die resultaat soos uitgestip in fig. 6.10 wys duidelik die kamfilter-effek.

Deur die mikrofoon so naby as moontlik aan die reflektiewe oppervlak te plaas kan die invloed van die refleksies tot 'n groot mate verminder word (Bullock & Woodard, 1984:1). Grensmikrofone⁹ verminder die invloed van refleksies deur teen die reflektiewe oppervlak geplaas te word (Andrews & Wahrenbrock, 1980; Andrews, 1980). Destruktiewe interferensie en kamfiltrering gebeur ook wanneer 'n instrument bespeel word in 'n natuurlike akoestiese omgewing, en dus moet die mikrofoonplasing poog om verteenwoordigend te wees van die mees natuurlike

⁹Grensmikrofone (Engels: *Boundary microphones*) gebruik 'n alomgerigte kapsule wat vervorm word tot 'n halfronde poolpatroon as gevolg van die aanwesigheid van die reflektiewe oppervlak waarop dit geplaas word. Kommersiële voorbeelde van hierdie tipe mikrofoon sluit die CROWN PZMTM en SHURE MX391 in (Donald & Spann, 2000:142).



Figuur 6.9: Vertraagde sein as gevolg van refleksie



Figuur 6.10: Kamfilter-effek as gevolg van vloer refleksie

refleksies. Bartlett (1981:727) stel die posisie van die gehoor voor as 'n goeie verwysingspunt.

6.5 Kombinasie van Veelvuldige Transduktore

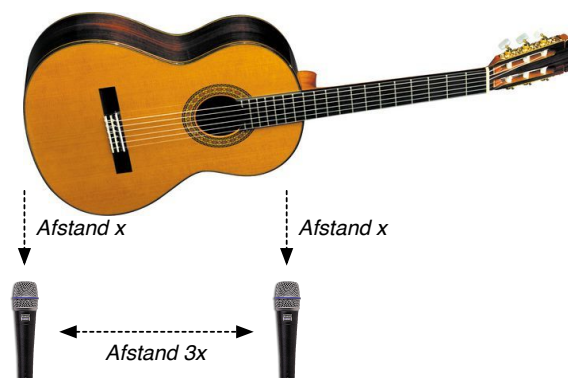
A great many authorities recommend the use of more than one microphone...but the author has found that the advantages of using more than one microphone are offset by a decrease in realism in the recording. The reason for this is that both microphones are picking up some of the same sound, but never with the same intensity or time relationship. Since the sound waves take a little bit longer to get to one microphone than the other and because they have to travel further while doing so, they are decreased in intensity when they reach the microphone that is further away. Because of this, many of the more subtle aspects of the performance are lost by being cancelled out or garbled when the two electrical signals are mixed together. Generally speaking, performances recorded with more than one microphone tend to have a sterile and unnatural quality about them. (Dyar, 1961:50)

In die vroegste opnames het die uitdaging daarin gelê om die enkele mikrofoon of horing so te plaas dat die meerderheid van die instrumente in 'n ensemble gehoor kan word (Hanson, 1931:81). Monofoniese opnames wat met een mikrofoon gemaak is en waar die spelers van posisie verander het om die balans te verander is hoogs onwaarskynlik vandag (Schellstede & Faller, 2007:2). Nogtans is daar baie aspekte van opnames wat as monofonies beskou kan word. Woszczyk (1979) se definisie hang nie af van die hoeveelheid mikrofone wat gebruik word nie, maar van die hoeveelheid kanale waarop hierdie gekombineerde sein opeindig. Dus sal 'n snaartrom wat 'n mikrofoon bo en onder opgeneem word as monofonies beskou word aangesien die twee mikrofone gesommeer sal word tot dieselfde kanaal en dieselfde plek in die stereo beeld opneem. Meerkanaal opnames, met soveel akoestiese isolasie as moontlik tussen mikrofone het tot gevolg dat keuses, soos die balans in die bogenoemde voorbeeld tussen die boonste en onderste mikrofoon op die snaartrom, uitgestel kan word tot tydens die finale meng (Moulton, 1986:161) (Rettinger, 1977:34).

6.5.1 Meervoudige Transduktore op 'n Enkele Bron

Meervoudige transduktore op 'n enkele bron word dikwels gebruik om verskillende karaktereenskappe van die instrument vas te vang. In die geval van 'n kitaar kan dit wenslik wees om die klank van die nek en brug te kombineer, in die geval van 'n snaartrom die boonste vel en die onderste snaar, en in die geval van 'n elektriese baskitaar om die klank van die versterker en sensor te kombineer. Sodra twee seine wat ooreenstem, maar verskil in tyd, gesommeer word kan dit tot destruktiewe interferensie lei Woram (1982:89) (Bartlett, 1970:674).

Die drie tot een reël word gewoonlik gebruik wanneer twee mikrofone op een bron geplaas word. Dit kom daarop neer dat die afstand tussen die mikrofone drie keer die afstand moet wees van mekaar as die afstand vanaf die klankbron (Hurtig, 1988:67). Soos in die geval van twee mikrofone of 'n kitaar (fig. 6.11), tel beide mikrofone ook informasie op wat slegs bedoel is vir die ander mikrofoon. Deur die mikrofone drie keer so vër van mekaar te plaas as vanaf die bron word die destruktiewe interferensie, veroorsaak deur die fase-verskil van die akoestiese lekkasie tussen mikrofone, tot die minimum beperk (Olive, 1986:139).



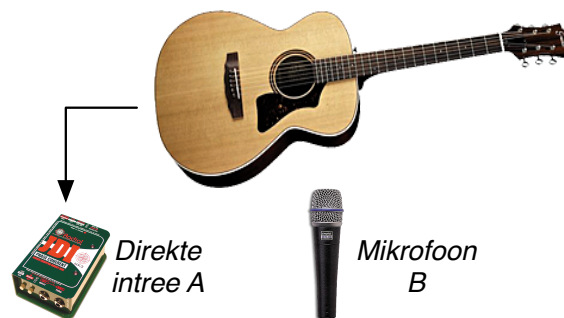
Figuur 6.11: 'n Voorstelling van die 3:1 verhouding

6.5.2 Kombinasie van Sensors en Mikrofone

Dit is algemene praktyk om 'n baskitaar beide as 'n direkte sein en deur 'n versterker op te neem (Chappell, 1999:140). Die kombinasie van bronne bied vergrote 'golfkruin duidelikheid en toonkleur definisie' (Opolko & Woszczyk, 1982). Die kombinasie van seine kan egter tot destruktiewe interferensie lei. Om hierdie verskynsel te ondersoek is 'n akoestiese kitaar is met 'n sensor en 'n mikrofoon is opgeneem (fig. 6.12), en die

verskil in polariteit is gestip (fig. 6.14). Die vertraging in tyd in die resultaat kan toegeskryf word aan die tyd wat nodig is om die klankbord van die kitaar in beweging te kry, waarna die vibrasies oorgedra word aan die sensor.

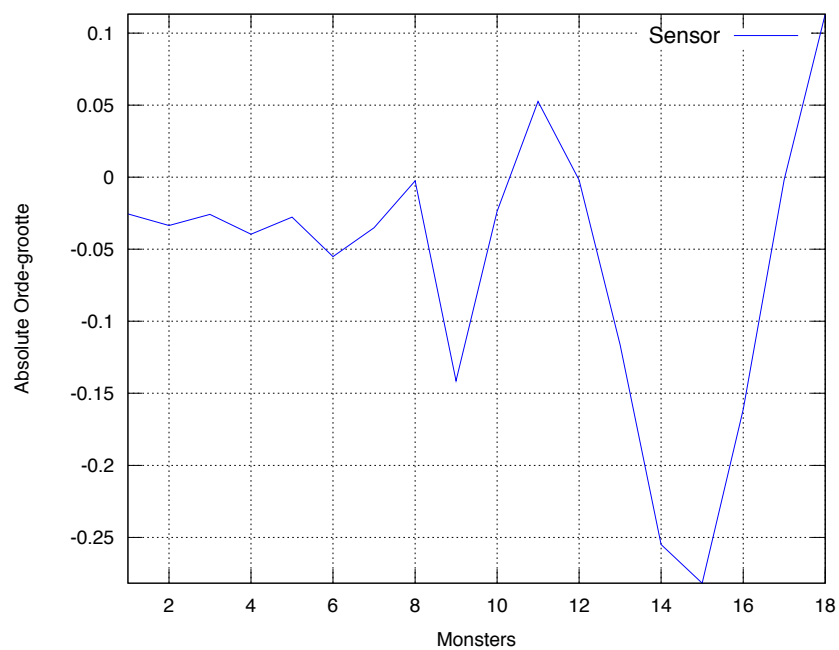
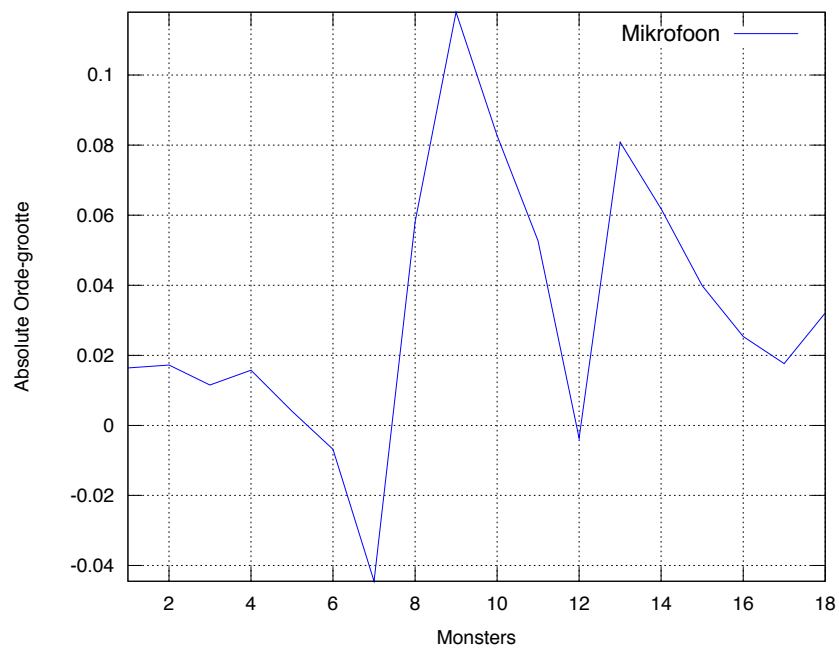
Die eksperiment is herhaal met 'n baskitaar en 'n versterker (fig. 6.13). Die polariteit in hierdie geval is nie omgekeer nie aangesien die versterker en die direkte lyn se sein beide van dieselfde sensor afkomstig is (fig. 6.15). Daar is wel 'n fase verskil wat veroorsaak word deur die vertraging van die kragversterker en die kort afstand wat die klank na die mikrofoon trek.



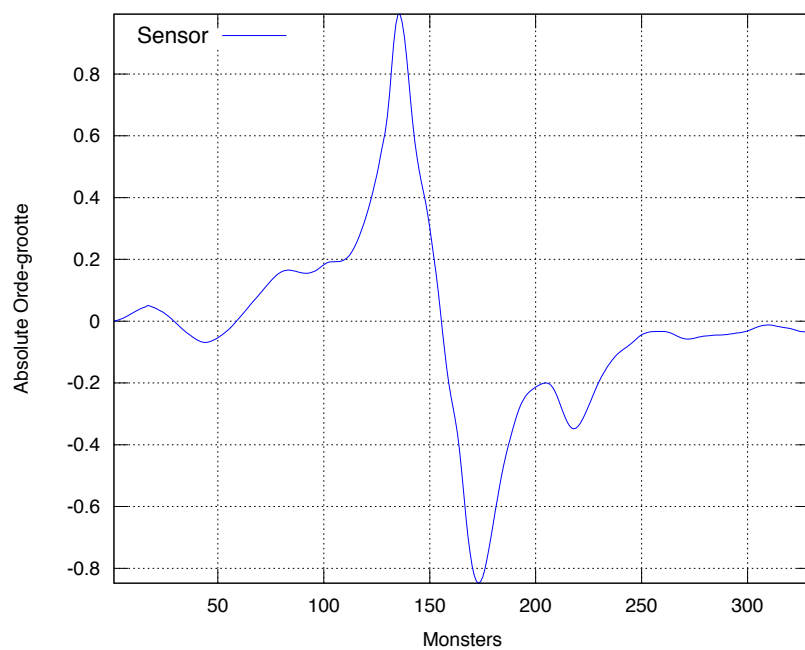
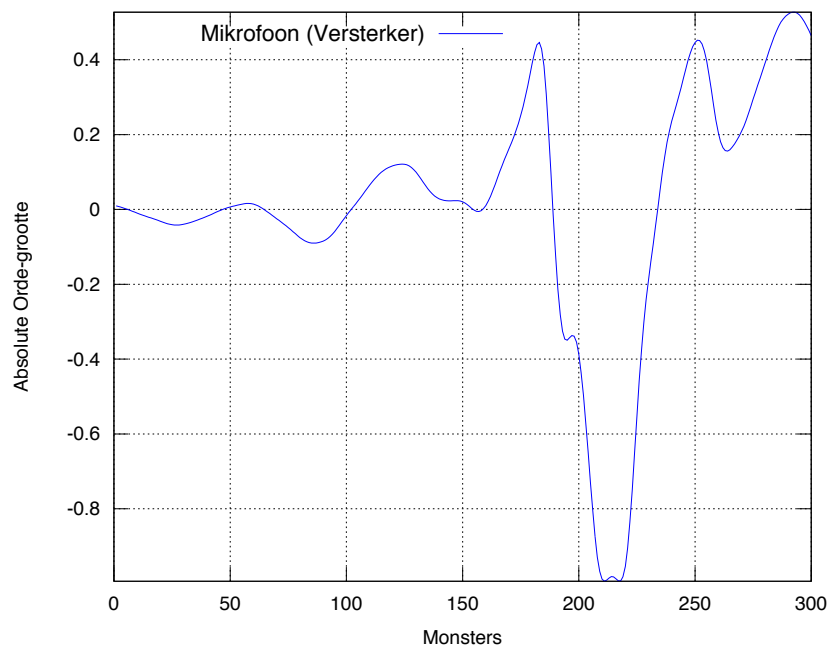
Figuur 6.12: Kombinasie van sensor en mikrofoon



Figuur 6.13: Kombinasie van sensor en klankversterker



Figuur 6.14: Verskil in polariteit tussen sensor en mikrofoon



Figuur 6.15: Verskil in polariteit tussen sensor en versterker

Stereofoniese en Meerkanaal Tegnieke

STEREO kom van die Griekse woord στερεος wat 'solied' beteken¹ (Lipshitz, 1985:5). Die stereofoniese beeld is die vermoë om 'n gereproduceerde klankbron, of versameling klankbronne, te kan lokaliseer op 'n lyn tussen twee luidsprekers (Pizzi, 1984:2).

"Accurate stereo imaging is the foundation for the art of stereo recording. Experience with the basic techniques and knowledge of their attributes are essential for anyone working in stereo formats. The art of recording lies in manipulating illusions. The science of recording involves the tools and techniques used to create these illusions." (Streicher & Dooley, 1985:548)

7.1 Geskiedenis van Stereofoniese en Meerkanaal Klank

Ader het by die 1881 Elektriese Skou in Parys die eerste keer stereofonie gedemonstreer deur klank van 'n opera deur twee aparte mikrofone na twee aparte telefoongehoorbuisse te stuur (Frederick, 1931). Die vermoë van die technici by die skou om een sender na meervoudige ontvangers te stuur het gelei tot die ontdekking (Offenhauser, 1958). In 1933 is daar heelparty eksperimente en demonstrasies gedoen by Bell Labatoriums rondom meerkanaal klankoordrag (Klipsch, 1959). Stereo soos dit vandag bestaan is dieselfde jaar deur Alan Blumlein (1958) gepatenteer. Sy patent het die opneem, berging², uitsending en mono versoenbaarheid van stereofoniese klank gedek (Davis, 2003:558) (Hilliard, 1962).

¹Ander sinonieme sluit 'ferm', 'hard' en 'sterk' in (Trenchard, 2003:146).

²Blumlein (1937) het die stereo plaat in 1937 gepatenteer.

In vroeë eksperimente is die gebruik van drie of meer kanale is ook ondersoek, maar die effek was nie so dramaties as in die verskil tussen een en twee kanale nie. Dit, saam met ekonomiese aspekte, was heelwaarskynlik die rede vir die kommersiële implimentering van stereofoniese klank (Crowhurst, 1960:95). In die filmwêreld het meerkanaal klank die eerste keer gebruik in die film *Fantasia* wat in 1940 uitgereik is (Davis, 2003:559). Verskeie klankbane³ is gespeel na verskeie luidsprekers in die teater wat dit moontlik gemaak het om klankelemente op verskeie plekke in die soniese beeld te plaas (Forrest, 1946:228).

Platemaatskappye was in die begin huiwerig om opnames in stereo uit te reik aangesien die formaat nog nie algemeen in gebruik was nie (Eargle, 1986:492). Juis as gevolg van hierdie rede het die BEATLES in die laat vyftigerjare in mono opgeneem, maar 'n spesiale stereo beheerkamer is by *Abbey Road*⁴ ateljees toegerus wat die seine ook in stereo vasgelê het (Ryan & Kehew, 2006:202). Stereo is wyd aanvaar in 1961 toe wetgewing in die V.S.A. in werking getree het wat stereo FM⁵ radio-uitsendings toegelaat het (Harvey & Uecke, 1961:1).

7.2 Aard van Stereofonie

Die doel van hoëtrou reproduksiestelsels is om die luisteraar die gevoel te gee van teenwoordigheid in die ruimte waar die klank ontstaan het (Cooper & Bauck, 1980). Die persepsie van ruimte is volgens Sarroff & Bello (2008:1) een van die belangrikste komponente wat luisteraars in opnames geniet. Die presiese weergawe van 'n drie-dimensionele stereofoniese veld is egter onmoontlik, dus kan perfekte stereofoniese reproduksie nie gebeur nie (Crowhurst, 1957:129). Reproduksiestelsels kan op die beste 'n virtuele ouditêre veld skep. Lehnert (1993:44) gebruik die voorbeeld van die opname van die orkes in 'n konsertsaal wat in 'n sitkamer teruggespeel word. Die luisteraar ervaar nie dieselfde klankbeeld as in die konsertsaal nie, en dit klink ook nie of die orkes in die sitkamer speel nie, dit klink soos die terugspeel van 'n opname in 'n sitkamer. Volgens Theile (1991:143) moet 'n stereofoniese reproduksie aan twee vereistes voldoen: Dit moet esteties bevredigend wees en dit moet die to-

³Sinkronisasie was nodig om die meervoudige kanale gelyk terug te speel. Die film is toegerus met 'n beheerbaan om die verskeie bandmasjiene te sinkroniseer (MacGowan, 1957:382). Hierdie metode sinkronisaasie word steeds gebruik in IMAX en films met *DTS (Digital Theater Systems)* klankbane, waar die klankbaan terugspeel vanaf laserskywe wat gesinkroniseer word met tydkode op die film (Gaston, 2006:2).

⁴<http://www.abbeyroad.com/>

⁵FM of frekwensie modulasie is 'n stelsel waar die frekwensie van die draersein deur die klanksein gemoduleer word, in plaas van amplitude modulasie (AM) wat die amplitude van die draersein gemoduleer het (Frost, 2010:3).

nale en ruimtelike kwaliteite van die oorspronklike klankbron akkuraat weergee.

Stereofoniese stelsels bevat twee kanale van informasie, gewoonlik genoem Links (L) en Regs (R). As die algebraïese som van $L + R$ afgelei sou kon word sou dit die monofoniese aspek van die klank verteenwoordig, terwyl $L - R$ die stereofoniese informasie sal bevat (Beaubien & Moore, 1960:144).

7.2.1 Stereofoniese Persepsie

Die persepsie van 'n stereofoniese veld berus op twee faktore: fase en intensiteit (Olson, 1958:87). Vir 'n sein wat in die linker-luidspreker $7.5dB$ harder is as in die regterkant sal 'n beeld ongeveer 15° na die linkerkant van die middelpunt tussen die twee luidsprekers verskyn as die luidsprekers 30° relatief tot die luisteraar staan. 'n Vertraging van ongeveer $0.5ms$ sal dieselfde resultaat tot gevolg hê (Bartlett & Billingsley, 1990:545). Ongeveer $18dB$ verskil is nodig tussen die twee luidsprekers vir 'n klank om heel links of regs voor te kom (Rumsey & McCormick, 2009:113).

Die korrekte posisie van die luisteraar, tussen die twee luidsprekers, speel 'n groot rol in die suksesvolle herskepping van 'n stereofoniese beeld (Bech, 1998:314). In stereofoniese reproduksie hoor elke oor beide luidsprekers, en dit is 'n misopvatting dat die stereofoniese beeld sal verbeter as daar van die tussen-oor kruispraat ontslae geraak sou word (Lipshitz, 1985:4). Sekere kopfoonversterkers gebruik juis 'n kruisvoer om 'n meer akkurate stereofoniese beeld te verkry (Thomas, 1977:474).

7.2.2 Skimbeeld

Skimbeeld is die verskynsel waar die uittree van twee luidsprekers die illusie skep van 'n derde luidspreker tussen die twee (Owsinski, 1999:21). Die Haas-effek in kombinasie met die inverse-vierkantwet veroorsaak dat luisteraars die naaste luidspreker as die klankbron waarneem. In gevalle waar luisteraars ewe vêr van beide luidsprekers af is, is daar geen verskil in tyd en amplitude tussen die luidsprekers nie en die klankbron word ervaar as afkomstig van 'n punt tussen die twee luidsprekers (Moulton *et al.*, 1986:7).⁶

'n Opname-tegnikus kan die skimbeeld goed aanwend om klankbeelde te herskep volgens die oorspronklike posisie van die klankbron (Bartlett & Billingsley, 1990:543). Die 'gat-in-die-middel'-effek kom voor wanneer die skimbeeld nie korrek aangewend word nie. Hierdie probleem kan

⁶Dit is dus belangrik dat die luisteraar presies tussen die luidsprekers is om die skimbeeld te ervaar. Hierdie was een van die redes waarom daar besluit is om 'n middel luidspreker in omringklank te voeg aangesien die lokalisasie in die middel dan nie afhang van die posisie van die luisteraar nie (Holman, 1990:196).

veroorzaak word deur stereofoniese mikrofoontegnieke nie korrek toe te pas nie, of om monofoniese bronne te wyd op die panorama-as te plaas (Wuttke, 1999:3).

7.2.3 Monofoniese Versoenbaarheid

Sekere elemente in 'n stereofoniese opname kan fase-kansellaries veroorsaak, veral teen hoër frekwensies, wanneer die twee kanale gesommeer word (Mugrdechian, 1991:4) (Eargle, 1971). Monofoniese versoenbaarheid verwys na die mate van sukses waarteen alle elemente in 'n stereofoniese sein behoue bly wanneer dit gesommeer word. Mono versoenbaarheid sal volgens Gerzon (1985:863) selfs in moderne tye 'n kwesie bly aangesien daar altyd vorme van klankversending sal bestaan wat monofonies is. Veral vir televisie uitsendings is mono versoenbaarheid van kritiese belang (Pizzi, 1984:2). Daar word selfs ondersoek gedoen in die digitale realm om stereofoniese seine in 'n stroom te enkodeer, waar die primêre monofoniese informasie en stereofoniese elemente apart voorkom om perfekte mono versoenbaarheid te verseker (Schuijers *et al.*, 2004:1).

7.3 Stereofoniese Tegnieke

Mikrofoonplasing is dikwels 'n kompromis tussen 'n goeie stereofoniese beeld en die verlangde verhouding tussen direkte klank en nagalm (Williams, 1987:1). Die meeste mikrofoontegnieke kan in die volgende groepe ingedeel word: Nabye-mikrofoonpare, gespaseerde mikrofoonpare of reekse⁷, en kolmikrofone⁸ (Schellstede & Faller, 2007:1). Elke stelsel is ontwikkel om die bes moontlike resultate te bied in verskillende omstandighede (Williams, 1987:2). Deur gerigte mikrofone in verskillende hoeke te rig word verskille in amplitude verkry, en deur mikrofone uit mekaar te plaas word tydsverskille verkry. Die oor ervaar hierdie verskille in amplitude en tyd as 'n beeld tussen twee luidsprekers (Bartlett & Billingsley, 1990:545).

7.3.1 Koïnsidente Stereofoniese Tegnieke

Koïnsidente- of intensiteit-stereo tegnieke word verkry deur 'n paar gerigte mikrofone teen 'n sekere hoek van mekaar op 'n gemene as naby aan mekaar te plaas. Daar is dus baie min verskil in fase (Sank *et al.*, 2002:4-37). Hierdie tegnieke is gelyk aan amplitude panorama, waar 'n sein se lokalisasie in een luidspreker afhang van die feit dat dit oor 'n

⁷Engles: *Array*

⁸Engels: *Spot microphones*

groter intensiteit beskik as die ander, maar oor geen verskille in tyd nie (Pulkki, 2002:2). 'n Voordeel van intensiteit-stereo is dat die akkuraatheid van die reproduksie-hoek nie beïnvloed word deur die afstand wat die mikrofoonpaar van die klankbron af is nie (Martin, 2002:8).

7.3.1.1 XY-Tegniek

Die XY-tegniek is deur Blumlein (1958)⁹ in 1931 gepatenteer. Blumlein het geglo dat die luisteraar se persepsie van die rigting van 'n klankbron afhang van die intensiteits- en fase-verskille tussen die twee ore, met die fase wat die belangrikse rol speel in frekwensies onder 700 Hz en intensiteit bo dit (Burns, 1999:270).

In die XY-tegniek word twee mikrofone met figuur-van-agt of niervormige poolpatrone so na as moontlik aan mekaar¹⁰ geplaas en gewoonlik teen 'n 90° hoek van mekaar gerig om tot gevolg te hê dat daar tussen die luidsprekers geen tydsverskille is nie, maar slegs verskille in amplitude (Pulkki, 2002:2) (Martin, 2002:8). As gevolg van diffraksie-effekte is dit moontlik dat selfs mikrofone wat bymekaar geplaas is 'n fase-verskil kan vertoon (Brixen, 1994:4).

Die verhouding tussen twee figuur-van-agt mikrofone in 'n 90° XY opstelling kan as volg uitgedruk word:

$$\begin{aligned} y_1(t) &= g_d \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot x(t - r), \\ y_2(t) &= g_d \cdot \cos(\alpha + 45^\circ) \cdot x(t - r). \end{aligned} \tag{7.3.1}$$

g_d is die afstands-afhanklike aanwins, en die amplitudes van elke mikrofoon, y_1 en y_2 , wissel met die hoek van die inkomende klankbron (Braasch, 2005a:4). Dit is wel belangrik om daarop te let dat wanneer agt-figuur mikrofone in hierdie opstelling gebruik word, klankbronne van agter oor teenoorgestelde polariteit sal beskik (Pulkki, 2002:2). Wanneer niervormige poolpatrone gebruik word, word die hoek tussen die mikrofone wyer verstel, gewoonlik rondom 110°, as gevolg van die wyer poolpatroon (Braasch, 2005a:4).

Die XY-tegniek is volgens Bartlett & Billingsley (1990:545) die stereo-tegniek wat oor die persepsie van die skerpste moontlike beeld beskik. Lipshitz (1985:26) sien hierdie tegniek as die mees getroue weergawe van diepte-persepsie. Nogtans word dit deur sommige ervaar dat dit te kort skiet in ruimtelike weergawe (Schellstede & Faller, 2007:1). Griesinger (1985:10) se kritiek teenoor hierdie tegniek is dat die mikrofoonpaar te

⁹Alan Dower Blumlein (1903 - 1942) was 'n Britse elektroniese ingenieur wat groot bydraes gemaak het in die veld van klankopnames, telefonie, lugvaart-elektronika, en radar (Vanderlyn, 1978:660).

¹⁰Teoreties is beide mikrofoon diafragmas op dieselfde plek wat egter in die praktyk nie moontlik is nie (Braasch, 2005b:3).

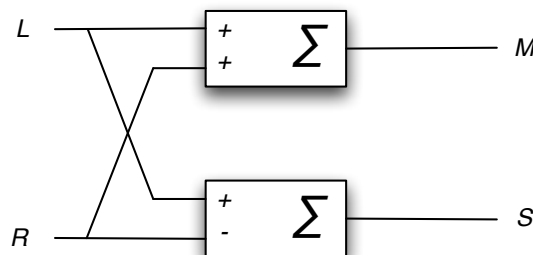
vêr vanaf die klankbron geplaas moet word om die bron binne 'n $\pm 45^\circ$ hoek te dek, wat lei tot te veel nagalm in die sein. Nagalm wat die mikrofoonpaar van agter bereik beskik ook oor omgekeerde polariteit (Bauer, 1961:1537).

Die XY-tegniek het egter die voordeel dat die luisteraar se posisie kan verander sonder om 'n skynbare beweging van die klankbron tot gevolg te hê (Clark *et al.*, 1957:97). Dit kan ook suksesvol gebruik word op enkele bronne, soos 'n solo luit, waar nagalm die oop ruimtes in die stereo-spektrum sal dek (Gerzon, 1976:36). Die XY-tegniek werk ook baie suksesvol vir naby mikrofoonplasings vir instrumente met 'n groot area van klankstraling soos 'n klavier, kitaar of harp, en gee 'n ruimtelike beeld met perfekte mono versoenbaarheid (Pizzi, 1984:8).

7.3.1.2 MS-Tegniek

Die Middel/Sy- of Mono/Stereo-tegniek is deur Alan Blumlein ontwikkel (Julstrom, 1990:1). Dit berus ook soos die XY-tegniek op die verskil in intensiteit tussen twee mikrofone. Daar is geen fase-verskil tussen die twee mikrofone nie en die ruimtelike informasie hang af van die intensiteitsverskille, wat berus op die poolpatrone van die mikrofoon (Dooley & Streicher, 1982:707). Die MS-tegniek is veral gewild in televisie uitsendings (Brixen, 1992:9).

In die MS-tegniek word 'n niervormige poolpatroon wat na voor kyk gestuur na die *M*-kanaal en 'n agt-figuur mikrofoon wat na die sykante kyk gestuur na die *S*-kanaal. (Katz, 2002:150) 'n Sommering vind plaas waar daar twee virtuele mikrofoonseine geskep word uit die bronne (Pulkki, 2008:757). Die enkodering berus op die beginsel dat die teenoorstaande asse van 'n druk-gradiënt mikrofoon seine met teenoorgestelde polariteit opwek (Boré, 1957:3). 'n Eenvoudige enkodering vind plaas waar die som en verskil van die twee seine die *M* en *S* seine voortbring (fig. 7.1).



Figuur 7.1: MS-enkodering (Watkinson, 2001:253)

Bartlett & Bartlett (2007:131) beskryf die volgende stappe om deur middel van 'n digitale klankwerkstasie MS seine te encodeer:

1. Neem mikrofoon *M* op kanaal een op, en *S* op kanaal twee.
2. Dupliseer kanaal twee op kanaal drie.
3. Verstel die panorama van kanaal twee en drie na links en regs.
4. Keer die polariteit van kanaal drie om.
5. Groepeer kanaal twee en drie.
6. Wissel die vlakke van kanaal twee en drie relatief tot kanaal een om die stereo-wydte te verstel.

Die voordele van die MS-tegniek volgens Woszczyk (1991:134) sluit in dat die bronwydte beheerbaar is, dit slegs twee kanale vir berging en uitsending benodig, en is ten volle mono versoenbaar. Die nadele is dat die rintinglike en ruimtelike informasie nie onafhanklik van mekaar is nie, die ruimtelikheid verdwyn in mono, beweging van die mikrofoon lei tot groot veranderinge in die sein, en dit is nie baie versoenbaar met omringklank nie. Volgens (Goodson, 1991:108) word omtrent alle dialoog by die *BBC* met MS-pare opgeneem



Figuur 7.2: MS-opstelling

7.3.2 Naby-koïnsidente Stereofoniese Tegnieke

Naby-koïnsidente stereo tegnieke verwys na 'n groep tegnieke wat naby genoeg aan mekaar geplaas word om lae frekwensies gelyktydig op te vang maar waar daar tydverskille tussen hoër frekwensies ontstaan. Die stereofoniese beeld hang dus af van verskille in intensiteit en fase

(Sank *et al.*, 2002:4-40). Vir frekwensies onder 700Hz vertoon naby-koïnsidente mikrofoonpare die eienskappe van koïnsidente stereo tegnieke en bo 2kHz die eienskappe van gespasieerde pare (Eargle & Streicher, 1986:153).

7.3.2.1 ORTF

Die ORTF-tegniek is vernoem na die Franse Nasionale Uitsaaierowerheid (*Office de Radiodiffusion Télévision Française*). Die opstelling bestaan uit twee mikrofone met niervormige poolpatrone wat 170mm uit mekaar gespasieer is en teen 'n hoek van 110° gerig word (Streicher & Dooley, 1985:551). Die afstand van 170mm tussen die twee kapsules is afgelei vanaf die afstand tussen die twee oortromme (Braasch, 2005a:6).

Die sein wat deur 'n ORTF-paar opgevang word verskil in beide intensiteit en fase. Teen lae frekwensies word baie soortgelyke resultate as met 'n XY-opstelling verkry aangesien die afstand tussen die mikrofone klein is relatief tot die golflengte van die klank. Teen hoë frekwensies is daar ook merkbare fase-verskille teenwoording (Pulkki, 2002:2). Die maksimum fase-verskil is 1ms in die geval waar die klankbron vanaf die kant kom (Braasch, 2005a:6). As gevolg van hierdie fase-verskille is die ORTF-tegniek nie ten volle mono versoenbaar nie (Woszczyk, 1991:134).

Volgens Griesinger (2001:3) is daar te veel lekkasie tussen die twee mikrofone om 'n wye klankbeeld te skep. Tog voel Ceoen (1972:26) en Martignon *et al.* (2005:11) dat die ORTF-tegniek uiters suksesvol daarin slaag om die ruimtelike informasie van 'n vertrek weer te gee.

7.3.2.2 NOS

Die NOS-tegniek is ontwikkel deur die *Nederlandsche Omroep Stichting* en berus op twee mikrofone met niervormige poolpatrone wat 300mm van mekaar geplaas is en teen 'n hoek van 90° van mekaar gedraai is (Streicher & Dooley, 1985:551). Die NOS-tegniek maak gebruik van die tydsverskil tussen die twee mikrofone, maar is steeds naby genoeg aan mekaar om ook op intensiteitsverskille te berus (McKinnie, 1991:5). Hierdie tegniek is nie mono versoenbaar nie as gevolg van die destruktiewe interferensie wat die amplitude- en frekwensie-oordrag beïnvloed (Ceoen, 1972:26). Die NOS-tegniek is ook baie afhanklik van die mikrofoon wat gebruik word se frekwensie-oordrag aangesien die hoek van die klankbron die frekwensie-oordrag sterk kan beïnvloed (Bartlett & Billingsley, 1990:545).

7.3.2.3 Faulkner

Die Britse opname-tegnikus Tony Faulkner het 'n tegniek voorgestel wat hy 'n 'gefaseerde-reeks-tegniek' genoem het. Dit bestaan uit twee iden-

tiese agt-figuur mikrofone wat 180mm van mekaar geplaas word en direk na voor wys (Gerzon, 1994:442). Hierdie tegniek kombineer elemente van die XY-tegniek, met meer van 'n fase-verskil as gevolg van die afstand tussen die mikrofone. Faulkner stel voor dat hierdie opstelling verder van die klankbron geplaas word as ander naby-koïnsidente opstellings (Streicher & Dooley, 1985:552).

7.3.3 Gespasieerde Stereofoniese Tegnieke

Gespasieerde mikrofone was die eerste opstelling wat gebruik is om 'n stereo-beeld op te neem (Sank *et al.*, 2002). Terwyl Blumlein se tegniek meestal in Europa gebruik is in die vroeë jare van stereo opnames, was gepasieerde tegnieke meer gewild in Amerika (Burkowitz, 1977:878). Gespasieerde tegnieke is ook as meer geskik beskou vir populêre musiek (Eargle, 1986:492). Die poolpatroon, plasing, en die afstand vanaf die klankbron van die mikrofoon is alles veranderlikes in hierdie tegniek (Sank *et al.*, 2002).

7.3.3.1 AB-tegniek

Algemene plasing in die AB-tegniek wissel tussen 0,6 en 1m vanaf die middellyn. Hierdie tegniek berus op verskille in amplitude en tyd (Streicher & Dooley, 1985:552). Die klankbron naaste aan die mikrofoon sal nie net die ander mikrofoon in tyd voorafgaan nie, maar ook oor 'n hoër intensiteit beskik (Birchfield & Gangishetty, 2005:1109). Die fase-verhouding tussen die mikrofone kan as volg uitgedruk word:

$$\phi = \frac{\sin \alpha \cdot D \cdot f \cdot 360}{c} \quad (7.3.2)$$

waar α die invalshoek van die klank is, D die afstand tussen die mikrofone, f die frekwensie en c die spoed van klank (Brixen, 1994:4). Klankbronne wat baie vêr van die mikrofoonpaar af is sal geen verskille by die verskillende mikrofone registreer nie (Bauer, 1963:89) (Streicher & Dooley, 1985:552).

Die lokalisasie in die AB-tegniek wissel met frekwensie (Pulkki, 2002:2). Dis is dus daarom belangrik om die afstand tussen die mikrofone ten minste 'n kwart golflengte van die laagste frekwensie wat opgeneem moet word, uitmekaar te plaas (Mickiewicz, 2004:4). 'n AB-mikrofoonpaar kan ook relatief naby aan die klankbron geplaas word aangesien balansprobleme in hierdie opstelling raar is (Gerzon, 1992b:8). Die groot verskille in beide tyd en amplitude het egter tot die gevolg dat die AB-tegniek glad nie mono versoenbaar nie (Taylor, 1979:678). Daar sal altyd 'n kansella-

sie plaasvind sodra die mikrofone teen 'n sekere frekwensie presies 'n halwe golflengte van mekaar af is (Wuttke, 2001:4).¹¹

7.3.4 Binaural

Binaural is afgelei van die Latyn wat beteken 'twee-orig' (Tinkham, 1953:13). Hierdie tegniek is spesifiek bedoel vir terugluister oor kopfone (Streicher & Dooley, 1985:552). Binaural of fopkop-stereofonie is gepatenteer deur W. Bartlett Jones (1932) in 1927. Dit maak staat op die tussen-oor verdrag as gevolg van die afstand tussen die twee ore, asook die filtrering wat veroorsaak word die kop se posisie in die klankveld (Wöhr *et al.*, 1991:624). Die idee is dat die klank aanwesig by 'n luisteraar se ore opgeneem word, en die ouditiewe beeld akkuraat sal herskep word deur die klank terug te speel deur kopfone (Møller *et al.*, 1996:451).

Jecklin (1981:330) se toepassing van hierdie tegniek berus op twee drukmikrofone wat 165mm van mekaar geplaas word met 'n skyf tussen die mikrofone met 'n omtrek van 280mm. Die afstand tussen die mikrofone is gebaseer op die afstand tussen die ore, en die skyf veroorsaak dieselfde filtrering van frekwensies as wat die kop sou doen. Fopkoppe, wat die vorm van die kop en ore naboots, soos die NEUMANN KU-81¹², is ontwikkel deur die *Institut für Rundfunktechnik* in Munich, in samewerking met die *Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Akustik* van die *Ruhruniversität Bochum* vir die gebruik in radio-uitsendings (Theile & Spikofski, 1984:223).

Die *Binaural*-tegniek is volgens Snow (1955:43) die 'mees perfekte' vorm van sterefoniese reproduksie. Griesinger (1990:200) se kritiek is egter dat kopfone teen die pinnae die frekwensie-oordrag van die oor tot 'n groot mate beïnvloed. McKinnie (1991:2) wys egter daarop dat 'n groot hoeveelheid navorsing gedoen word om die ideale pinnae-weergawe vanuit fopkoppe te kry. Die tekortkominge van fopkop-opnames wat feitlik onmoontlik is om te oorkom sluit in die verwarring tussen voor en agter, die klankbron wat as te naby ervaar word, en 'in-die-kop lokalisasie' (Møller *et al.*, 1999:83).

¹¹As twee mikrofone byvoorbeeld 5ft van mekaar geplaas is, wat in 'n tydsvertrgning van 5ms vertaal, sal die klank uit fase wees by elke 200Hz interval. Wanneer dit na mono gesommeer word sal die amplitude eienskappe na 'n kamfilter lyk met pieke of elke 200Hz interval (Harvey & Uecke, 1961:5).

¹²Die huidige produksie-model is die NEUMANN KU-100 (NEUMANN, 2002).

7.4 Mikrofoon-reekse en Meerkanaal Tegnieke

Met vroeë navorsing in stereofoniese reproduksie is mikrofoon-reekse gebruik om 'n bron op te vang en na soveel as moontlik kanale te stuur vir reproduksie (Woszczyk, 1992:926). Alhoewel sulke mikrofoonreekse nooit in die praktyk gebruik is nie is die gebruik van mikrofoonreekse wel gevestig en word dit vandag gebruik vir meerkanaal omringklank opnames (Hulsebos *et al.*, 2003), virtuele realiteit (Hiekkänen *et al.*, 2007), en selfs die monitering van verkeer (Duffner *et al.*, 2005).

7.4.0.1 DECCA-boom

Die DECCA-boom is ontwikkel deur DECCA in London en is veral gewild op wyd verspreide klankbronne soos groot orkeste (Schneider, 2001:3). Dit bestaan gewoonlik uit drie alomgerigte mikrofone gerangskik in 'n driehoek ongeveer 1.5–2m van mekaar, met die buitenste mikrofone wat onderskeidelik die linker- en regter-kanaal voer en die middelste mikrofoon wat beide kanale voer (Woszczyk, 1991:134). Dit word gewoonlik teen 'n hoogte van ongeveer 3m reg agter die dirigent geplaas (Schneider, 2001:3).



Figuur 7.3: 'n Opname van Trevor Jones se klankbaan vir die film *My Hunter's Heart*, met 3 AKG C414 EB mikrofone in 'n DECCA-boom opstelling

Die DECCA-boom berus op tydsvertraging en reeks gerigtheid om rigting informasie van die klankveld te vergroot (Woszczyk, 1991:134). Dit skep 'n groter gewaarwording van ruimtelikheid as wat aanwesig is in die

oorspronklike klank, baie soos die eggo-eenhede wat in populêre musiek gebruik word (Gerzon, 1992b:8).

7.4.1 Fukada-boom

Die Fukada (2001)-boom is 'n aangepaste weergawe van die DECCA-boom, en word veral gebruik vir klassieke omringklank opnames. Die Fukada-boom vervang die alomgerigte mikrofone met niervormige mikrofone om die nie-direkte klank in die voorste kanale te verminder (Fukada *et al.*, 1997:3). Hierdie opstelling bied 'n groot inter-kanaal tydsverskille wat as 'n 'wye' en 'oop' klank waargeneem word. Daar is egter probleme ten opsigte die lokalisasie van klank as gevolg van die afstand tussen mikrofone (Kassier *et al.*, 2005:4).

7.4.2 INA

Die naam van die INA-tegniek is afkomstig van die afkorting van die Duitse term *Ideale Nieren-Anordnung* (ideale rangskikking van niervormige mikrofone) (Wuttke, 2001:5). Die INA-tegniek is gebaseer op die 'kritiese skakel'-tegniek soos voorgestel deur Williams & Le Du (1999, 2000). Hierdie 'kritiese skakel' word bereik deur of 'n elektroniese of mikrofoon posisie goedmaak¹³. Die tyds- en intensiteitsverskille word dus elektronies verstel, of gemanipuleer deur die mikrofone te verskuif. Die reeks word so geplaas dat die buitenste mikrofone kyk na die kante van die bron, terwyl die middelste mikrofoon na die middel van die bron gerig word (Kassier *et al.*, 2005:4).

7.4.3 OCT

Die *Optimal Cardioid Triangle* (OCT) is deur Theile (2001) voorgestel. In hierdie tegniek word kruispraat tussen kanale soveel as moontlik verhoed. Die OCT-tegniek gebruik 'n niervormige mikrofoon slegs 80mm voor twee hiperniervormige mikrofone. Die buitenste mikrofone word weg van mekaar gerig om die maksimale verwydering tussen die twee kanale te verkry (Kim *et al.*, 2006:4). Die opnamehoek kan verstel word deur die afstand tussen die twee buitenste mikrofone (Kassier *et al.*, 2005:4).

7.4.4 Ambisonics

Ambisonics is deur Micheal Gerzon (1973, 1985) ontwikkel (Daniel *et al.*, 1998). In die eenvoudigste eerste orde implimentering neem dit 'n klankveld vanaf een punt op in alle dimensies en die klank word gestoor in

¹³Engels: *Offset*

die B-formaat, met X, Y, Z en W kanale. Kanale X, Y, en Z is gerigte mikrofone gerig op die X, Y, en Z asse, en W is die mononofoniese komponent, gewoonlik afkomstig van 'n drukmikrofoon (Kim *et al.*, 2006:5). *Ambisonics*-weergawe gee beter resultate as 5.1 omringklank op klank-effekte en atmosferiese klanke, maar hanteer dialoog nie baie suksesvol nie (Baume & Churnside, 2010). *Ambisonics* is ook frekwensie-afhanklik en die effek verminder soos die frekwensie verhoog (Bamford & Vanderkooy, 1995).

7.5 Hoof- en Kolmikrofone

'n Uitgebreide klankbron soos 'n simfonie-orkester word gewoonlik opgeneem deur 'n kombinasie van hoof- en kolmikrofone. Die hoofmikrofoonpaar speel die belangrikste rol in die klank van die opname, maar die balans tussen die instrumente is gewoonlik nie optimaal nie. Een 'uitkykpunt' slaag ook nie altyd daarin om die korrekte perspektief en toonkleur van die instrumente weer te gee nie (Faller & Erne, 2005). Die perspektief en toonkleur word versterk deur kolmikrofone (Holman, 2000:101). Kolmikrofone word naby aan die verskillende instrumente geplaas om 'n sein met hoofsaaklik die instrument naaste aan die mikrofoon met min nagalm op te neem (Mouchtaris *et al.*, 2005:263) (Bharitkar & Kyriakakis, 2006:81). Die rol van die kolmikrofone is om die 'dinamiese balans, artikulasie, lokalisasie en diepte' van die opname te beklemtoon (Leonard, 1993:3). Hierdie mikrofone se panorama word gebaseer op die posisie wat dit in hoofmikrofoonpaar beslaan (Boone *et al.*, 1995:1009).

Kolmikrofone beskik oor die gevaar om die natuurlike ruimtelike persepsie te vervorm (Borwick, 1977:694). Die eerste golffront van die instrument bereik die kolmikrofoon eerste, en sal dus ook deur die luidspreker eerste teruggespeel word, en sodoende deur die luisteraar as die bron van die klank beskou word (Wuttke, 2001:4). Verder sal die sommering van seine afkomstig van nie-nabye mikrofoonpare sal altyd lei tot 'n mate van fase-kansellering en kamfilter-effekte, veral op die hoër frekwensies. (Brunner *et al.*, 2007:2) Om die vervorming van die klankbeeld te verhoed word die kolmikrofone gewoonlik vertraag relatief tot die afstand wat dit vanaf die hoofmikrofoonpaar geplaas is (Wöhr *et al.*, 1991:625). Eargle (2003:308) stel voor dat kolmikrofone met 'n ekstra 10ms vertraag word om kamfilter-effekte te verhoed. Anazawa *et al.* (1997:1) het egter bevind dat vertragingkompensasie binne 'n akkuraatheid van 1ms moet val om 'n effektiwiteit te wees. Volgens (Wöhr *et al.*, 1991:625) en (Theile, 1991:148) veroorsaak vertragingkompensasie net soveel probleme as wat dit oplos. (Chafe *et al.*, 2004:1) vermoed ook dat vertragingkompensasie kan lei tot probleme in die ervaring van ensemble akkuraatheid.

7.6 Opname-hoek

Die stereofoniese opname-hoek¹⁴ (SOH) is die sektor wat die klank die skimbeeld tussen die twee luidsprekers vul (Brixen, 1994:3). Dit definieer die hoek tussen die middellyn en die punt tussen die luidsprekers waar die maksimum intensiteitsverskille tussen die linkerste- en regterste kanaal voorkom (Hibbing, 1989:823). Dit berus op die psigo-akoestiese beginsel van skimbronverskuiwing as gevolg van tussen-kanaal verskille in intensiteit en tyd (Williams, 1987:2). Die opname-hoek is omgekeerd-eweredig aan die hoek en die afstand tussen die mikrofone (Williams, 1991).

Verskeie opstellings (tabel 7.1) en frekwensies (tabel 7.2) gee verskillende resultate ten opsigte van die opnamehoek. Daar is selfs 'n verskil tussen die hoeke wat verskeie navorsers vasstel vir opstellings wat ooreenstem (tabel 7.3).

Opstelling	Kapsule	Opstellingshoek	Spasie	Opnamehoek
NOS	Kardioïd	$\pm 45^\circ$	30cm	80°
ORTF	Kardioïd	$\pm 55^\circ$	17cm	95°
AB	Alomgerig	0°	50cm	100°
AB	Alomgerig	0°	40cm	150°

Tabel 7.1: Verskillende opnamehoeke van verskeie opstellings (Theile, 2001:6)

500 Hz Toetssein	Hoek van stereo-beeld	Hoek van klankbron
M-S	30°	45°
NOS	30°	47°
ORTF	30°	52°
Fopkop	30°	57°
XY	30°	81°

Tabel 7.2: Verskillende in lokalisering teen verskillende frekwensies (Hugonnet & Jouhaneau, 1987:5)

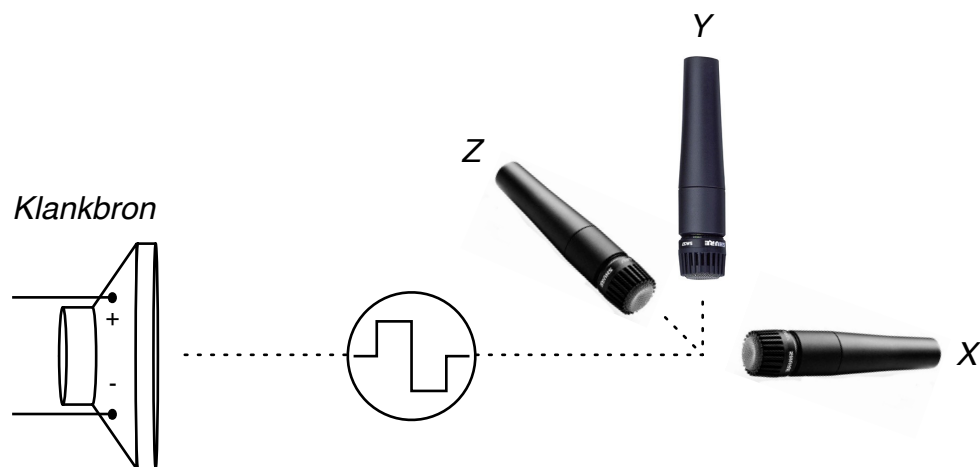
¹⁴Duits: *Aufnahmebereich* / *öffnungswinkel*

Opstelling	Hugonnet	Sengpiel	Williams	Wittek
AB Alomgerig 50cm	130°	180°	100°	74°
AB Alomgerig 100cm	-	62°	-	36°
ORTF Kardioïd $\pm 55^\circ$ 17 cm	90°	96°	100°	102°

Tabel 7.3: Verskillende opnamehoeke van verskeie navorsers (Wittek & Theile, 2002:3)

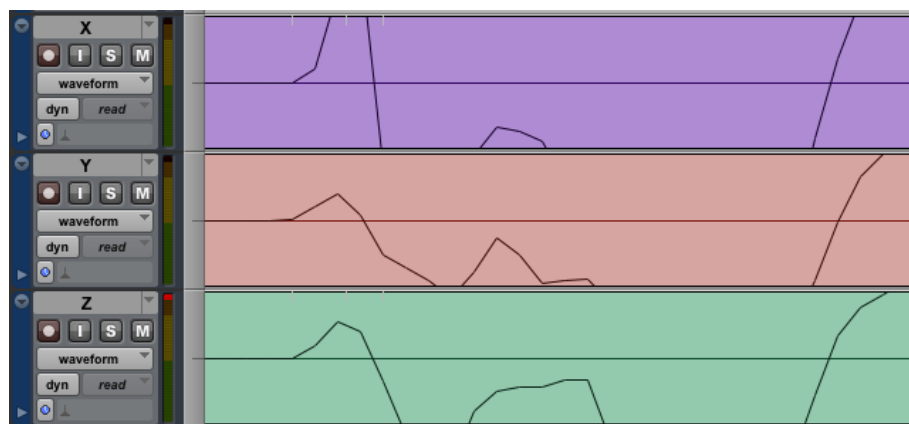
7.6.1 Die Verhouding tussen Opnamehoek en Fase

Die opvatting bestaan dat enige stereo mikrofoontegniek buiten 'n 90° XY opstelling fase-kansellaries veroorsaak (James, 2003:38). Daar is dus diegene wat die hoek van die mikrofoon assosieer met verskille in fase. Om dit te ondersoek is die volgende eksperiment¹⁵ gedoen waar mikrofone met kapsules so na as moontlik aan mekaar in verskillende rigtings relatief tot die klankbron gemik is (fig. 7.4). Die resultate wys (fig. 7.5) dat daar geen verband is tussen die hoek van die mikrofoon en die fase nie.



Figuur 7.4: Verhouding tussen fase en hoek van mikrofoon

¹⁵Sien Addendum C.8 vir die volledige eksperiment



Figuur 7.5: Verhouding tussen fase en hoek van mikrofoon

Praktiese Toepassing

IN hierdie hoofstuk word die voorafgaande navorsing toegepas op die opname van 'n tromstel. Daar is besluit op 'n tromstel aangesien dit 'n komplekse klankbron is, en die meeste populêre musiek volgens Owsinski (2005:111) 'ritme-georiënteerd' is. Tromme word in populêre musiek gebruik om die 'tempo te vestig' en die 'ritmiese eenheid te handhaaf' (Strain, 2003:359).

'n Tipiese tromstel word deur verskeie mikrofone opgeneem om oor die definisie te beskik wat moderne populêre musiekopnames vereis. Die voordeel van hierdie tegniek is dat die verskillende elemente later gebalanseer kan word, en dat seinverwerking op spesifieke elemente toegepas kan word (Porcello, 2005:108).

8.1 Oorhoofse Mikrofone

'n Soektog na oorhoofse mikrofoonplasing op die *Gearslutz*¹ aanlyn forum vertoon 13 700 resultate, 'n aanduiding dat die daar 'n geweldige klomp vrae en opinies bestaan oor die gebruik van oorhoofse mikrofone.

8.1.1 Verlangde Stereofoniese Veld en Bronwydte

"The dimensions of space that are of most concern to the production recording are: the location of the sound on the horizontal plane, the illusion of the distance of the sound source, and the creation of a physical environment for the sound source(s)." (Moylan, 1986:3)

In baie gevalle is die stereofoniese beeld in populêre musiek afkomstig van die panoramiese plasing van monofoniese bronne (Billingsley,

¹<http://www.gearslutz.com>

1989:3), of die gevolg van seinverwerking soos nagalm en eggo (Moulton *et al.*, 1986:7). In die geval van die oorhoofse mikrofone op 'n tromstel word daar gepoog om 'n stereofoniese perspektief van die tromstel weer te gee (Campbell & Brody, 2004:228). As gevolg van die groot area waarvan 'n tromstel klank straal is dit volgens Pizzi (1984:8) moontlik om 'n natuurgetroue stereofoniese beeld te verkry selfs al is die mikrofone relatief naby aan die bron. Die gevaar is egter dat 'n 'oordrewe' stereofoniese veld kan ontstaan waar die bron voorkom asof dit die hele klankbeeld vul (Gerzon, 1992c:25).

Rumsey (2002:658) het drie vorme van wydte in musiek geïdentifiseer: Die wydte van die individuele bron, die wydte van die ensemble, asook die wydte van die omgewing. Die 'oënskynlike bronwydte'² is die wydte van die bron wat deur 'n luisteraar waargeneem word (Okano *et al.*, 1998:255). Dit verskil van ruimtelikheid wat afhang van die nagalm wat 'n luisteraar omring (Griesinger, 1999:27).

Die verlangde bronwydte hang af van die deel van die klankveld wat 'n luisteraar verwag 'n betrokke klankbron sou vul, en is gebaseer op wat die luisteraar sien. Om die verlangde bronwydte van 'n tromstel in die konteks van 'n orkes te ondersoek is die bekende foto van die BEATLES as gaste op die *Ed Sullivan Show*³ (fig. 8.1) as verwysing gebruik. Op grond van die visuele ruimte wat die tromspeler vul (fig 8.2) kan die verlangde bronwydte van 33% as 'n aanduiding gebruik word.

8.1.2 Panorama

'n Tromstel word gewoonlik op die panorama-as geplaas met die bas- en snaartrom in die middel⁴ (fig. 8.3) en die *tom-toms* en oorhoofse mikrofone versprei oor die as (Bazil, 2008:54). Die panorama word benader vanuit die perspektief van die speler of die gehoor. Daar is geen vaste reël wat dit aanbetref nie⁵ (Parsons, 1996:89), en luisteraars kan gewoonlik nie tussen die oorspronklike en omgekeerde panoramiese plasing onderskei nie (Swanson, 1992:3). Die plasing van die bastrom in die middel⁶ het ontwikkel as gevolg van die beperkinge van plaatopnames waar

²Engels: *Apparent source width* (ASW)

³Die *Ed Sullivan Show* was vir drie dekades een van die gewildste vermaaklikheidsprogramme in Amerika. Dit is nasionaal uitgesaai deur CBS vanaf 1948–1971 (Ingils, 2006:558). 'n Rekord 73 miljoen Amerikaners het die *Ed Sullivan Show* gekyk op 9 Februarie 1964 toe die BEATLES opgetree het (Lewis, 1992:86).

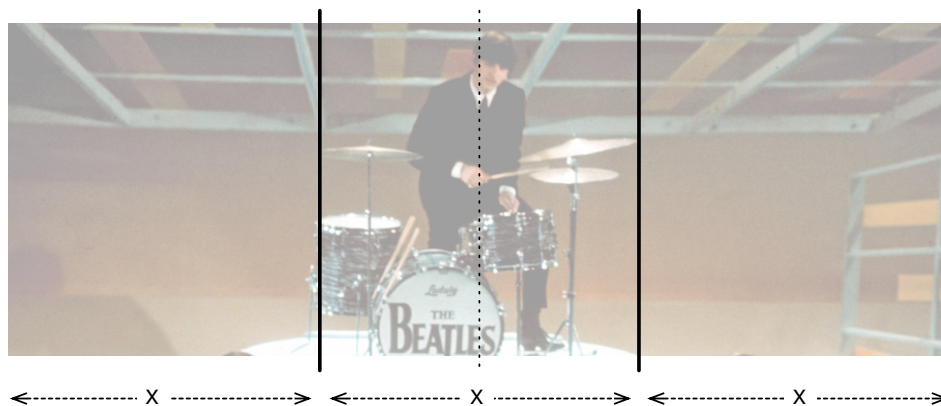
⁴Eargle (2001:235) en Pejrolo & DeRosa (2008:87) stel egter 'n perspektief voor presies soos die speler dit ervaar, met die snaartrom effens na links geplaas, maar hierdie klankbeeld kom egter min in die praktyk voor.

⁵In hierdie studie sal die perspektief van die speler gebruik word.

⁶Griesinger (1998:136) ervaar hierdie plasing in opnames as 'kunsmatig' en dit veroorsaak 'n 'in-die-kop lokalisasie', nogtans is dit die norm.



Figuur 8.1: Die BEATLES as gaste op die *Ed Sullivan Show*. (Associated Press, 1964)



Figuur 8.2: Die bronwydte van die tromstel



Figuur 8.3: Panorama van kolmikrofone op tromstel

die snykop deur die wal van die groef sou sny as die lae-frekwensie informasie aan een kant geplaas is (Owsinski, 1999:21)

8.1.3 Plasing van Oorhoofse Mikrofone

“Virtually all contemporary recordings have both monophonic and stereophonic components, coexisting in reasonably convincing and pleasing fashion, and often enhancing each other substantially.” (Moulton et al., 1986:7)

In die opname van ’n tromstel word daar gepoog om die individuele komponente te plaas relatief tot die klankbeeld afkomstig vanaf die oorhoofse mikrofone (Billingsley, 1989:3). Owsinski (2005:138) beskryf verskeie wyses waarop oorhoofse stereofoniese pare geplaas kan word, maar al hierdie voorbeelde gebruik die hoek van die tromstel relatief tot die gehoor as die verwysing vir die panoramiese-as. Die tradisionele panoramiese plasing (fig. 8.3) beperk egter die wyses waarop die oorhoofse mikrofone geplaas kan word en dit is nodig om weg te beweeg van die visuele beeld van ’n tromstel na die verlangde klankbeeld. ’n Driedimensionele model van ’n tromstel in *Sketchup*⁷ (fig. 8.4) is gebruik om

⁷*Google SketchUp* is ’n drie-dimensionele oppervlak modelleerder wat ten doel staan om vinnige ontwikkeling van konsepte toe te laat (Chopra, 2009:11). *SketchUp*

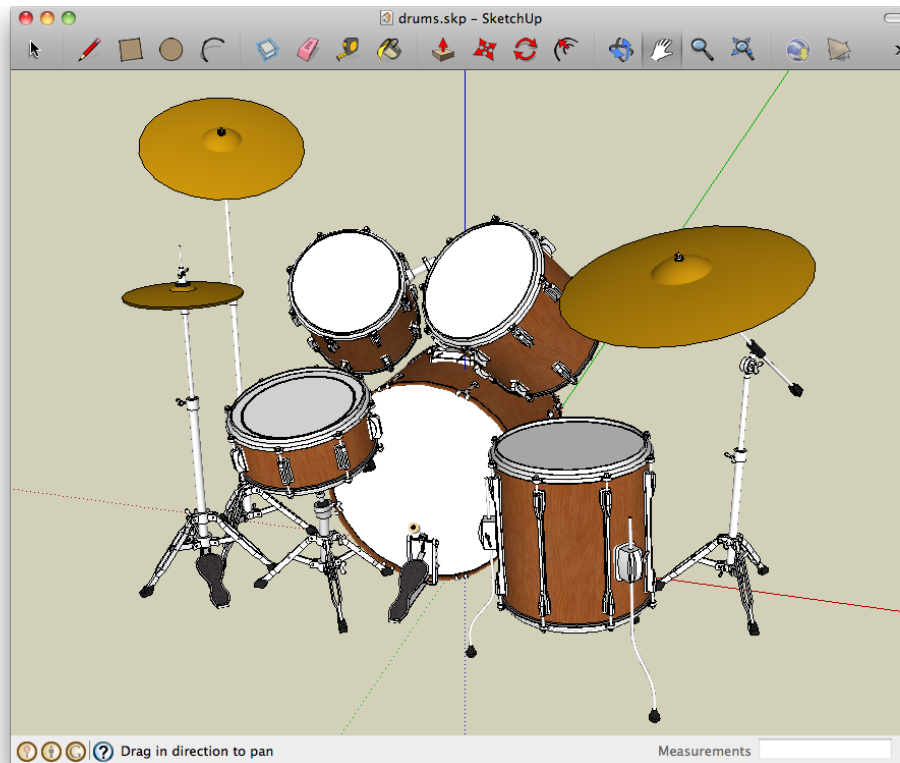
die panorama-as te bepaal. Deur die panorama middellyn te plaas soos in fig. 8.5, is die enigste wyse waarop die natuurgetroue stereofoniese beeld kan ooreenstem met die tradisionele panoramiese plasing.

Mikrofoonposisie is volgens (Williams, 1984:1) *“generally a compromise between a good coherent stereophonic image and the required amount of presence.”* Die uitdaging is dus om ’n stereofoniese tegniek te gebruik wat ’n mate van ‘teenwoordigheid’ sal skep sonder om die bronwydte te oordryf. Verder moet daar in ag geneem word dat die gevaar bestaan dat ‘uit-die-middel’ klankbronne waargeneem kan word as afkomstig van slegs een luidspreker, veral as die luisteraar nie presies in die middel van die luidsprekers is nie. (Lipshitz, 1985:31) Laastens moet die voorkoms van so baie mikrofone in ’n klein area rondom ’n tromstel, wat kan lei tot fase-kansellاسies, oorweeg word Levitin (2001:p148)

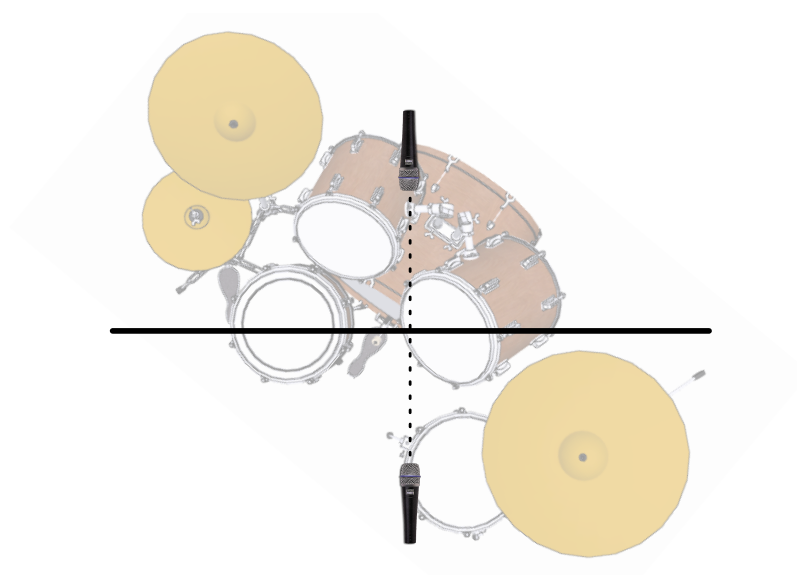
Deur die algemene stereofoniese mikrofoontegnieke te vergelyk kan afgelei word dat die XY-tegniek die meeste van die bogenoemde uitdaginge die hoof bied. ’n Studie deur Hugonnet & Jouhaneau (1987:5) stel die opnamehoek van ’n XY-paar met ’n 81% bron vas teen 30%. Die klein opnamehoek wat deur Griesinger (1985:10) as ’n nadeel van die XY-opstelling gesien is, is tot die voordeel van hierdie spesifieke toepassing. Die laat die XY-paar dit toe om naby aan die bron geplaas te word, sonder dat die stereofoniese klankveld oordryf word. Die hoek tussen die mikrofone kan ook verstel word om beheer uit te oefen oor die geregenereerde stereofoniese beeld (Williams, 1984:10). Die XY-tegniek skakel ook moontlike fase-probleme uit dit slegs verskille in amplitude besit (Martin, 2002:8), en ten opsigte van die posisie van die luisteraar laat dit toe dat die luisteraar se posisie kan verander sonder om ’n skynbare beweging van die klankbron tot gevolg te hê (Clark *et al.*, 1957:97).

8.1.4 Mikrofoon Tipes

Hirsch & Heithecker (2006) stel voor dat die beste kapasitor mikrofone tot die opname-tegnikus se beskikking, gebruik word. Gepasde mikrofone sluit onder meer modelle soos die NEUMANN KM84 of U67, SCHOEPPS 221, en die AKG C451 of C414 in. Long (2005) en Owsinski (2005:138) stel ook die gebruik van lintmikrofone soos die ROYER R121 en SF12 voor. Die gebruik van klein-diafragma mikrofone is ’n veiliger opsie aangesien groot-diafragma mikrofone fase-kansellاسies as gevolg van diffraksie-effekte kan veroorsaak (Brixen, 1994:4).



Figuur 8.4: Drie-dimensionele *SketchUp* model van Tromstel



Figuur 8.5: Panorama-as op tromstel

8.2 Kolmikrofone

Soos in die geval van 'n simfonie orkes waar die hoof mikrofoonpaar ondersteun word deur kolmikrofone (Faller & Erne, 2005), word hierdie benadering ook toegepas in die opname van 'n tromstel in 'n populêre musiek opname. Die tipe mikrofoon wat op die onderskeie elemente gebruik word verskil as gevolg van die groot verskille in toonkleur tussen die individuele komponente van 'n tromstel (Cohan, 1998:41).

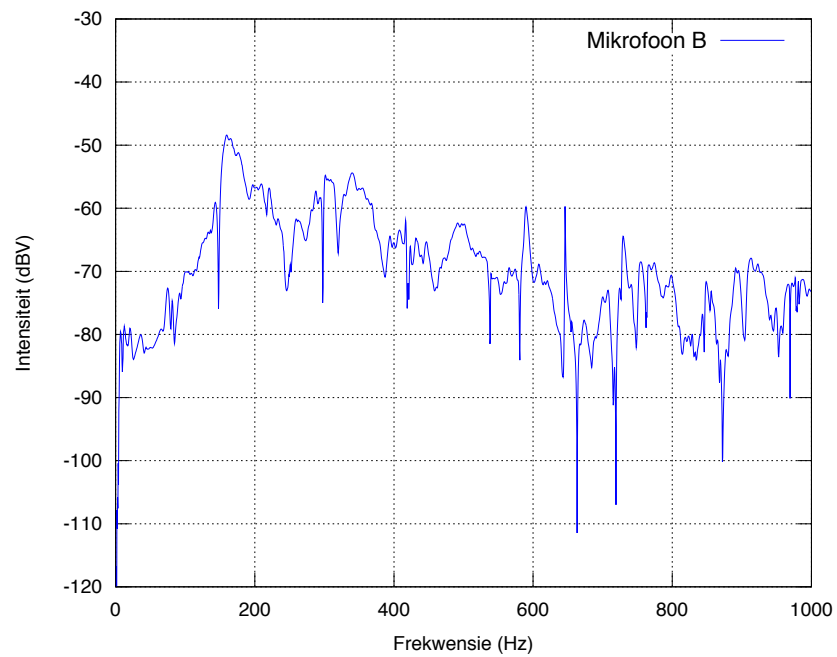
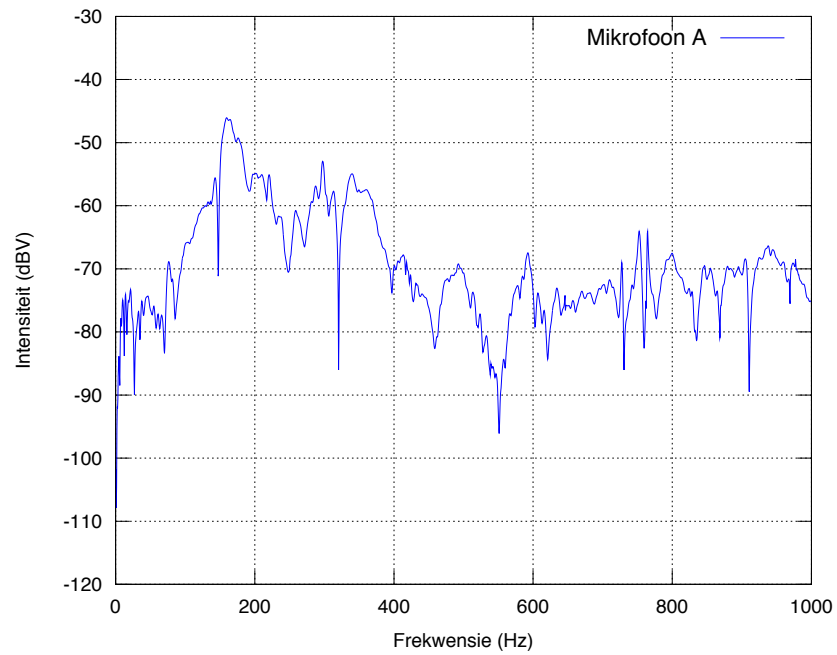
Analises van (Obata & Tesima, 1935:267) het gevind dat beide membrane van die trom 'n belangrike rol speel in die klank wat genereer word. Die energie word tussen die twee membrane uitgeruil deur die lug wat in die trom vasgevang is en die intensiteit waarteen die membrane vibreer wissel af oor tyd. Dit is daarom belangrik dat die mikrofoon nie te naby aan die trom geplaas word nie, sodat die mikrofoon die vibrasie van beide membrane kan optel. Long (2005) beskryf hierdie afstand as 'ruimte vir die klank om te ontwikkel'. Woszczyk (1979:12) stel voor dat die mikrofoon buite die kant van die vel geplaas word om die klank wat deur die onderste vel genereer word ook op te tel.

Die area op die membraan waarheen die mikrofoon gerig word het ook 'n invloed op die toonkleur. Die fundamentele frekwensie word genereer deur die kern van die tromvel en die randte genereer die botone (Obata & Tesima, 1935:267). Die toonkleur wat deur die mikrofoon opgevang word kan gemanipuleer word deur die mikrofoon te rig op 'n sekere area van die tromvel (Huber & Runstein, 1997:137) Die verskil in toonkleur tussen die verskillende areas op die tromvel is ondersoek (fig. 8.6) en die resultate (fig. 8.7) die teenwoordigheid van meer hoë frekwensies teen die rand van die vel.

'n Eksperiment (fig. 8.8) is gedoen om te ondersoek watter invloed die hoek van 'n mikrofoon het op die toonkleur wat opgevang word. 'n Trom is opgeneem met twee koïnsidente mikrofone onderskeidelik gerig teen 0° en 90° relatief tot die tromvel. Die resultate is gestip in fig. 8.9. Op 'n hoek van 90° is daar meer lae frekwensies teenwoordig wat



Figuur 8.6: Verskil in toonkleur tussen middel en kant van tromvel



Figuur 8.7: Verskil in toonkleur tussen die middel en kant van 'n tromvel

toegeskryf kan word aan die nabyheids-effek (Woszczyk, 1979:12). Die eksperiment is herhaal met enkel-element niervormige mikrofone om te ondersoek op die poolpatroon wat afgelei word van 'n kombinasie van druk- en drukgradiënt tot 'n groter teenwoordigheid van lae-frekwensie informasie sal lei, maar dit het dieselfde resultate getoon teen lae frekwensies.

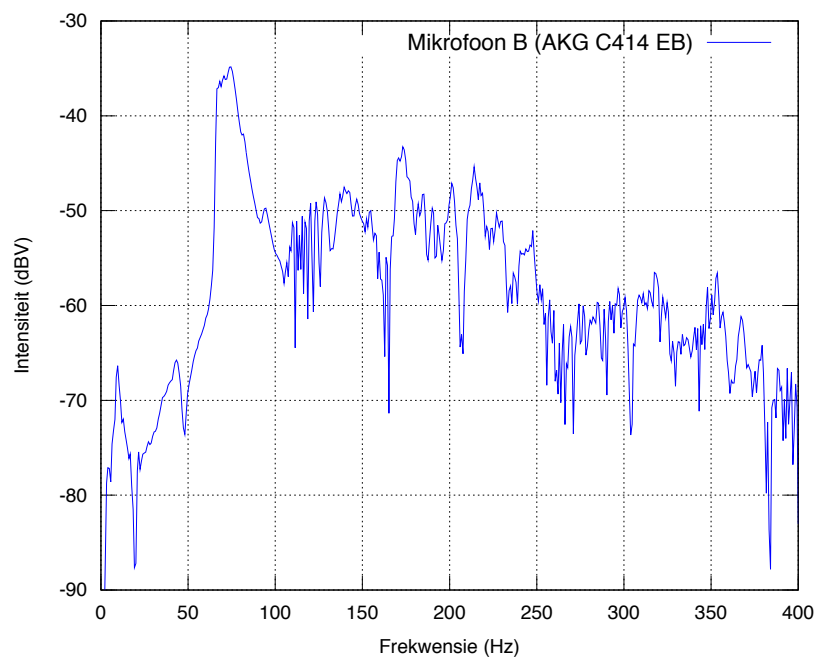
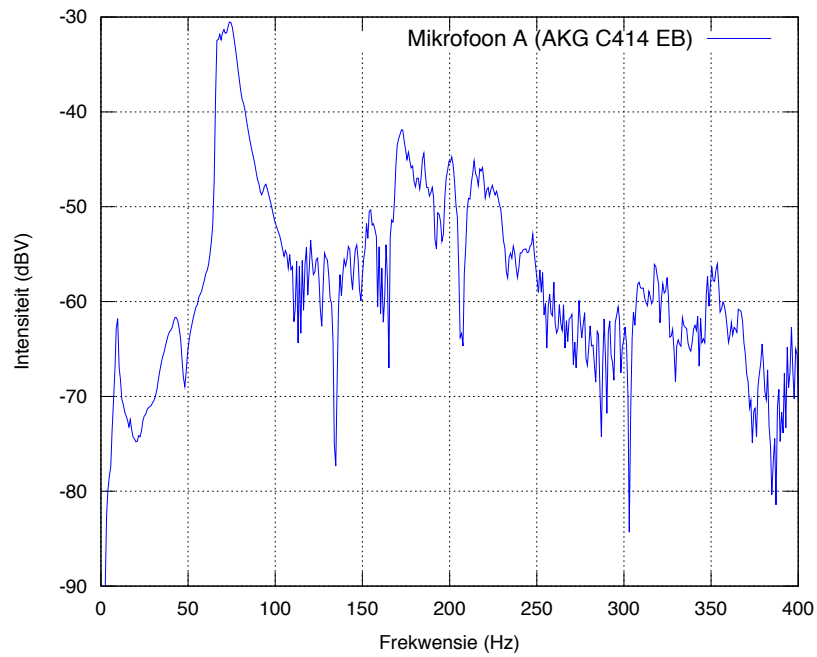


Figuur 8.8: Hoek relatief tot toonkleur

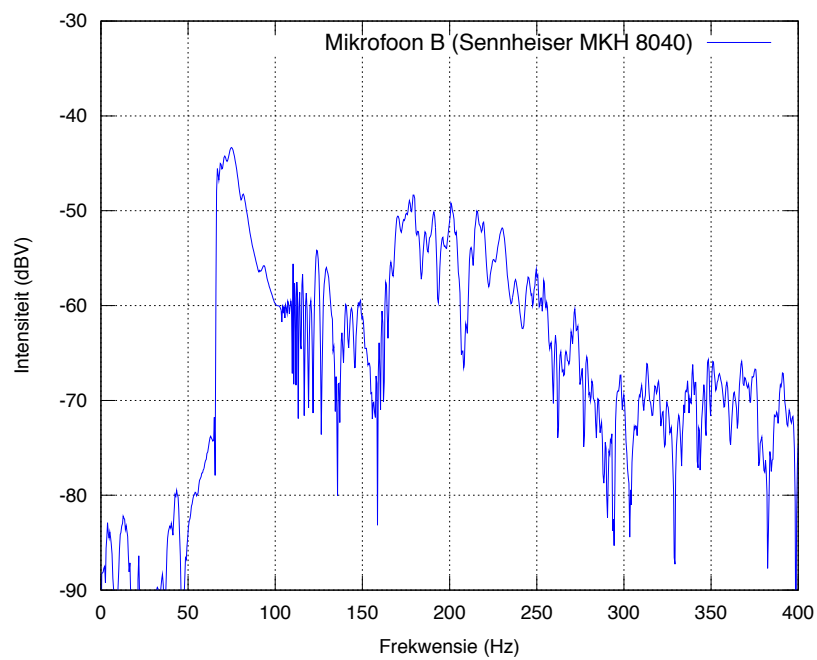
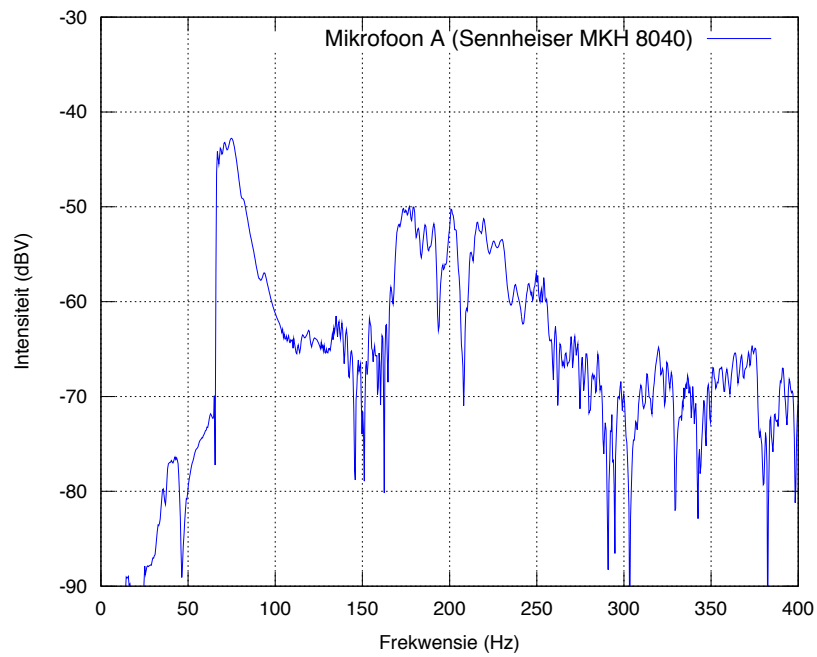
8.2.1 Bastrom

Die bastrom word gewoonlik met 'n kapasitor of dinamiese mikrofoon, of 'n kombinasie van die twee opgeneem. (Eargle, 2003:269) Die mikrofoon kan binne of aan enige kant van die bastrom geplaas word (Owsinski, 2005:119). Gewilde mikrofone om te gebruik op die bastrom sluit die SHURE Beta 52 of 91, AKG D112, NEUMANN U47, en SENNHEISER MD421 in (Cohan, 1998:41).

Dit is ook algemene praktyk om 'n bastrom met 'n luidspreker op te neem. (Robbins, 2007:79) Die YAMAHA SubKick dinamiese mikrofoon is 'n voorbeeld van hierdie toepassing (YAMAHA, 2009). Hierdie tipe mikrofoon het 'n beperkte frekwensie bandwydte wat afhang van die grootte van die diafragma. Aangesien 'n luidspreker as 'n drukgradiënt mikrofoon (beide kante van die diafragma is blootgestel) funksioneer kan 'n



Figuur 8.9: Die invloed van die hoek van 'n AKG C414 EB mikrofoon op die toonkleur van 'n trom



Figuur 8.10: Die invloed van die hoek van 'n SENNHEISER MKH 8040 mikrofoon op die toonkleur van 'n trom

liniêre weergawe teoreties slegs verkry word tot op 'n golflengte wat gelyk is aan die afstand tussen die voor- en agterkant van die diafragma (Madsen, 1957:84) Vir die betrokke toepassing is die beperkte frekwensie bandwydte baie voordelig aangesien dit akoestiese isolasie aan die bastrom verleen. 'n Luidspreker as bastrom mikrofoon is gebou (fig. 8.11) deur slegs 'n luidspreker direk aan 'n XLR kontak sok te soldeer.⁸



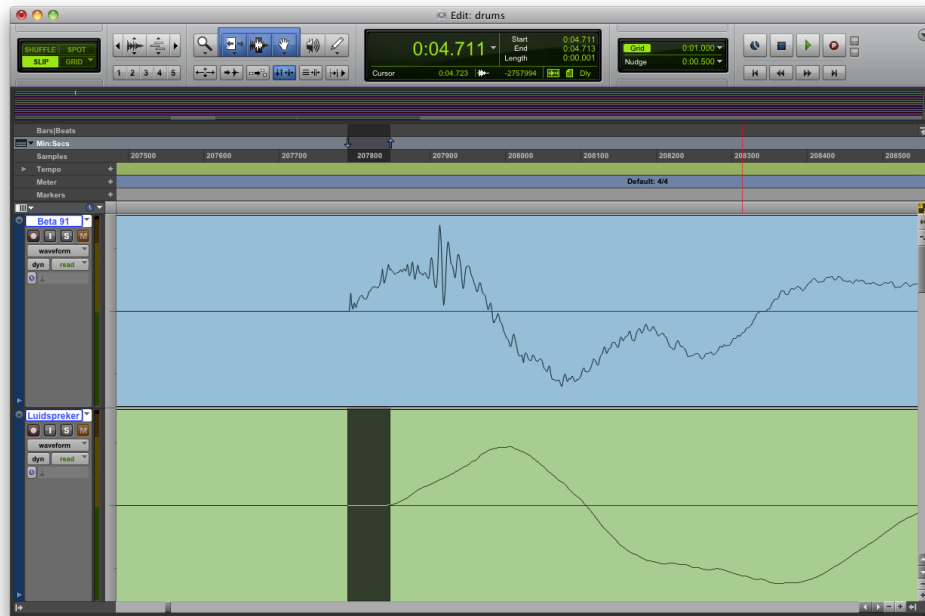
Figuur 8.11: 'n Luidspreker as bastrom mikrofoon

Wilson (2007) wys daarop dat dit uiters belangrik is om na die fase-verhouding tussen die twee seine wanneer twee mikrofone op die bastrom gebruik word. Die afstand tussen die twee mikrofone sal die grootste bydraende faktor tot 'n fase-verskil wees. Indien 'n fase-verskil bestaan sal dit sigbaar wees op die golfvorm wat deur 'n digitale klank werkstasie vertoon word (fig. 8.12).

8.2.2 Snaartrom

Die klank van 'n snaartrom bereik $130dB_{SPL}$ binne mikro-sekondes (Woszczyk, 2003:3). 'n Ideale mikrofoon vir 'n snaartrom moet hoë klankdruk-

⁸n Luidspreker het geen verdere elektronika nodig om as 'n mikrofoon te funksioneer nie. Die positiewe en negatiewe terminale dra die positiewe en negatiewe deel van 'n gebalanseerde sein, en die skerm kan aan die mandjie geheg word vir grond.



Figuur 8.12: Die verskil in fase tussen twee mikrone op 'n bastrom

vlakke kan hanteer terwyl dit terselfdertyd 'n goeie frekwensie-oordrag in die reeks van 40–16 000Hz besit (Cohan, 1998:41). Die SHURE SM57 is 'n baie gewilde keuse onder opname-tegnici vir snaartrom opnames (Slone, 2002:25) (Rudolph & Leonard, 2001:116). Alternatiewe ontwerpe soos die HEIL⁹ PR20 maak staat op moderne magnetiese materiale wat dit in staat stel om 'n frekwensie bandwydte van 50–18 000Hz weer te gee (PR20:2) teenoor die 40–14 000Hz bandwydte van die SHURE SM57 (27D2903, Rev. 2:11).

Dit is algemeen dat opname-tegnici mikrone bo en onder die snaartrom plaas om die klank van die boonste vel en die snaar op die onderste vel te kombineer (Franz, 2004:77). Dit is egter belangrik dat die polariteit van hierdie twee mikrone omgekeer word (Bartlett & Bartlett, 2002:141). 'n Opname is gedoen met 'n mikrofoon bo en onder die snaartrom (fig. 8.13) en die resultate is uitgestip (fig. 8.14). Die fase-kansellasië wat in hierdie geval sou voorkom wanneer die twee seine gesommeer word is nie die gevolg van die vertraging in tyd tussen twee seine nie, maar die verskil in polariteit veroorsaak deur die wyse waarop die trom klank genereer. Wanneer die slaanvel geslaan word beweeg dit weg van die mikrofoon en skep dus 'n puls laer as atmosferiese druk, terwyl die lug in die trom die resonante vel na die onderste mikrofoon druk en 'n puls hoër as atmosferiese druk skep.

⁹<http://www.heilsound.com/pro/index.php>

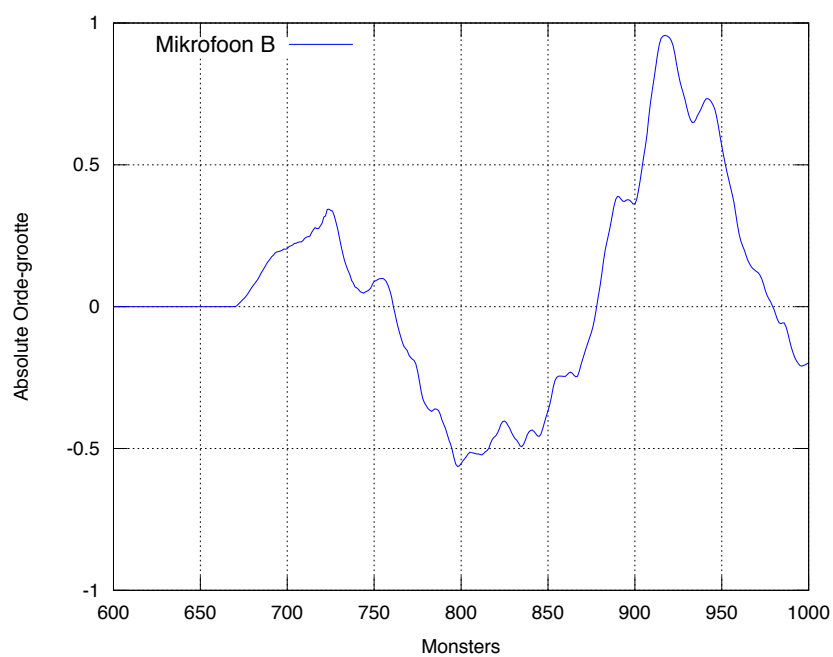
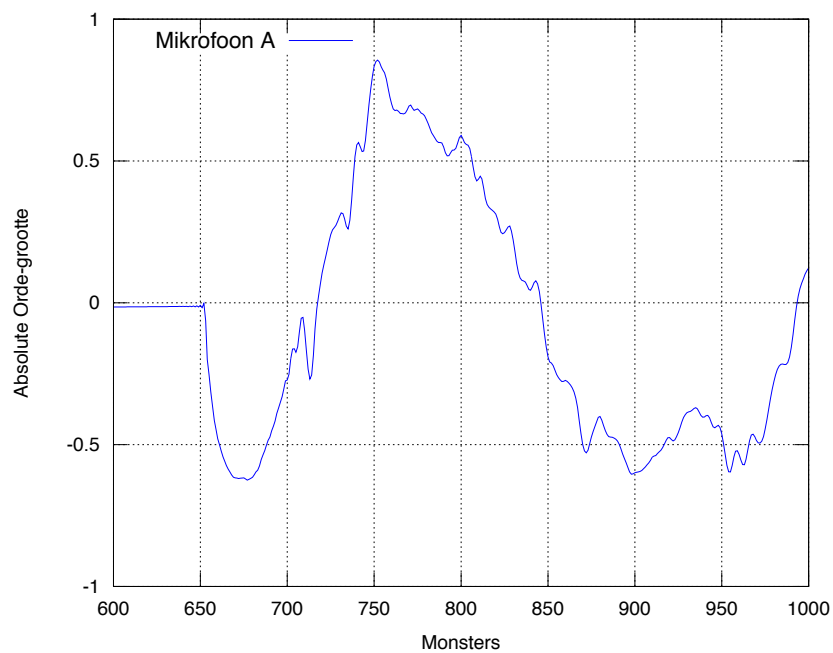


Figuur 8.13: Fase-kansellasië tussen twee mikrofone op 'n snaartrom

Sommige opname-tegnici plaas 'n vorm van akoestiese isolasie rondom die snaartrom mikrofoon, gewoonlik 'n geïmproviseerde toestel gemaak uit 'n plastiek bottel of polistireen koppie (fig 8.15) (Owsinski, 2005:138). Hierdie tegniek skep egter meer probleme as wat dit oplos. 'n Enkel-element niervormige kapsule se gerigtheid berus op die vertraging van seine wat vanaf die 180° as afkomstig is (Glover, 1940) (Talbot-Smith, 2004:400). Deur 'n refleksie in die klankpad te plaas word die gerigtheid van die mikrofoon vervorm. Verder absorbeer 'n materiaal soos polistireen klankgolwe, maar dit sal slegs 'n effek hê op hoë frekwensies aangesien 'n dik absorbeerder nodig is om lae frekwensies te absorbeer (Mangiante, 1977:1516).

8.2.3 *Tom-toms*

Tom-toms kan of individueel opgeneem word of 'n mikrofoon kan tussen twee tromme gedeel word (Bartlett & Bartlett, 2002:143). Sommige opname-tegnici gebruik mikrofone op die boonste en onderste vel van die *tom-toms* (Crich, 2005:52). Dinamiese mikrofone word gewoonlik gebruik en 'n gewilde mikrofoon is die SENNHEISER MD421 (Bergamini & Fuhrman, 2004:8). Hoe nader die mikrofoon aan 'n 90° hoek relatief tot die tromvel geplaas word, hoe meer lae-frekwensies sal dit optel. Die afstand vanaf die vel sal ook bepaal of nie resonante vel opgetel sal word deur die mikrofoon.



Figuur 8.14: Polariteit van mikrofone bo en onder snaartrom



Figuur 8.15: Polistireen koppie as mikrofoon isolator

8.2.4 *Hi-hats*

'n Uitdaging wanneer die *hi-hats* opgeneem word is om so min as moontlik van ander tromme, veral die snaartrom, in die mikrofoon op te vang (Slone, 2002:25). Die invloed van die snaartrom kan verminder word deur die mikrofoon so te plaas dat die *hi-hats* 'n 'akoestiese skaduwee' oor die mikrofoon werp. Long (2005) gebruik die poolpatroon om maksimum akoestiese isoalsie te verkry. 'n Agt-figuur poolpatroon beskik oor die nouste moontlike lob en verwerp dus klanke vanaf die kante baie effektief. Kapasitor mikrofone soos die SHURE SM81 (Cohan, 1998:41) of AKG C452 (Owsinski, 2005:133) is gewilde keuses vir die opname van *hi-hats*.

8.2.5 Tydvertraging van Kolmikrofone

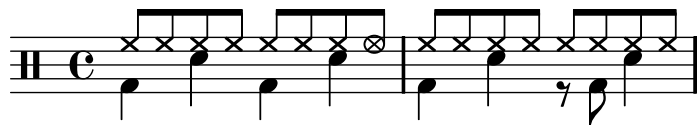
'n Toetsopname is gemaak om die vertraging tussen die hoof- en kol mikrofone op 'n tromstel te ondersoek. 'n Hoofmikrofoonpaar in 'n XY-konfigurasie is saam met nege kolmikrofone gebruik (tabel 8.1). 'n Tromspeler is gevra om twee mate van die Michael Jackson treffer *Beat It*¹⁰ (fig. 8.16) te speel.

Theile (2000:6) stel voor dat 'n 'tydvertragingsplan' voor 'n opname opgetrek word. Dit gee 'n oorsig van al die mikrofone betrokke en waar tydvertraging sal moet toegepas word. 'n Spreitabel (fig. 8.17) kan ook gebruik word om die afstande tussen mikrofone te vertaal in die tyd wat dit verlaag moet word. Die tydsverskille tussen die verskillende

¹⁰Die liedjie *Beat It* is geskryf deur Michael Jackson en het verskyn op die album *Thriller*, wat die rekord hou vir die album waarvan die meeste kopieë (28 miljoen in die V.S.A. en 50 miljoen wêreldwyd) ooit verkoop is (Lewis, 2005:69) (Mitchell & Newman, 2009:22).

Bron	Mikrofoon	Voorversterker
Oorhoofs Links	SENNHEISER MKH 8040	BUZZ MA-2.2
Oorhoofs Regs	SENNHEISER MKH 8040	BUZZ MA-2.2
Bastrom binne	SHURE Beta 91	AUDIANT ASP 008
Bastrom buite	Luidspreker	AUDIANT ASP 008
Snaartrom bo	HEIL PR20	AUDIANT ASP 008
Snaartrom onder	SHURE SM7B	AUDIANT ASP 008
Tom 1	SHURE SM57	AUDIANT ASP 008
Tom 2	SHURE SM57	AUDIANT ASP 008
Tom 3	SHURE SM57	AUDIANT ASP 008
Tom 4	SENNHEISER E602	AUDIANT ASP 008
Hi-hats	AKG 452	TL AUDIO PA1

Tabel 8.1: Opstelling van tromstel opname

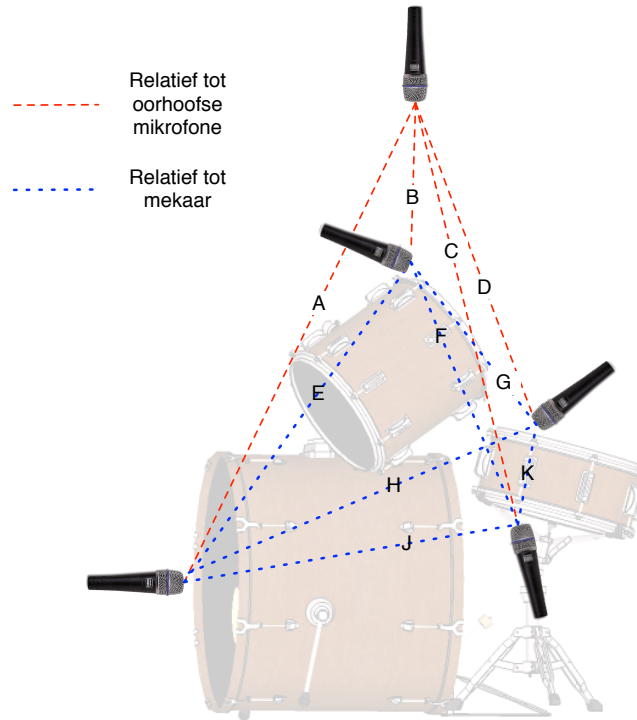


Figuur 8.16: *Beat It* van Michael Jackson

	A	B	C	D	E	F
	Afstand (cm)	Temperatuur °C	Spoed van Klank (m.s)	Vertraging in Tyd (s)	Monstertempo (Hz)	Vertraging in Monsters
3	10	18	342.21	0	44100	12.89
4	75	18	342.21	0	44100	96.65
5	210	18	342.21	0.01	44100	270.62
6	85	18	342.21	0	44100	109.54
7	300	18	342.21	0.01	44100	386.61

Figuur 8.17: 'n Spreitabel om die vertraging van mikrofone te bereken

mikrofone op 'n tromstel is nie slegs relatief tot die hoofmikrofoonpaar nie, maar ook relatief tot mekaar (fig. 8.18).



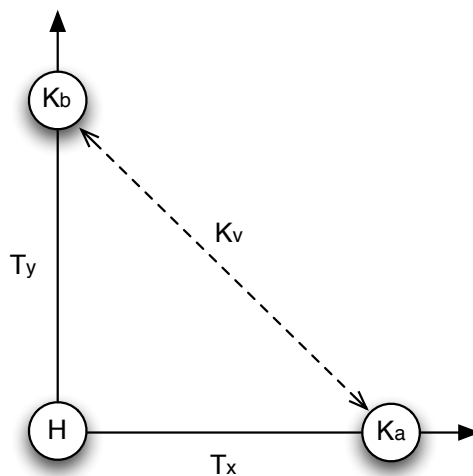
Figuur 8.18: Fase-verskille tussen die mikrofone op 'n tromstel

Wanneer die kolmikrofone vertraag word relatief tot die hoofmikrofone beïnvloed dit die onderlinge tydsverhouding tussen die kolmikrofone. As die opstelling vereenvoudig word tot slegs drie mikrofone (fig. 8.19) kan die verhouding in tyd relatief tot mekaar as volg uitgedruk word:

$$K_v = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} \quad (8.2.1)$$

waar K_v die tydsverskil is tussen die twee kolmikrofone (K_a en K_b) en T_x en T_y die tydsverskil is tussen die onderskeie kolmikrofone en die hoofmikrofone. Indien die tydsverskil relatief tot die hoofmikrofone onderskeidelik verminder word met ΔT_x en ΔT_y wys die volgende vergelyking die verwagte invloed wat dit moet uitoefen op die tydsverskil K_v tussen die kolmikrofone:

$$K_v = \sqrt{(T_x - \Delta T_x)^2 + (T_y - \Delta T_x)^2} \quad (8.2.2)$$



Figuur 8.19: Vereenvoudigde onderlinge tydsverhouding tussen kolmikrofone

In die praktyk bly die vertraging tussen die kolmikrofone egter onaan-geraak, behalwe dat die verhouding relatief tot mekaar vervorm word. Die K_v tydsverskil bly egter konstant en die vermindering van T_x en T_y sal geen invloed daarop hê nie. Die tydsverhouding tussen die hoof- en kolmikrofone kan dus aangepas word om 'n weglaatbare tydsverskil tussen H en K_a en K_b tot gevolg te hê maar die verhouding tussen die kolmikrofone sal altyd bly:

$$\frac{K_a + K_v}{K_b + K_v} \quad (8.2.3)$$

Alhoewel die vertraging van die kolmikrofone relatief tot die hoofmikrofone fase-kansellاسies sal verminder in tussen die hoof- en kolmikrofone gaan dit egter ander onvoorspelbare kansellاسies genereer. Die mate waartoe hierdie kansellاسies sal voorkom hang af van die verskil in amplitude tussen die verskillende kolmikrofone. Deur die drie tot een reël toe te pas kan kansellاسies tot die minimum beperk word (Hurtig, 1988:67). Tabel 8.2 wys die komplekse tydsverhouding tussen slegs vyf mikrofoonposisies op die toetsopname.

8.3 Afleidings

Uit die drie-dimensionele modellerings wat gedoen is en toepassings wat getoets is kan afgelei word dat dit moontlik is om 'n natuurgetroue stereofoniese beeld op te neem wat ooreenstem met die tradisionele panoramiese plasing van die kolmikrofone op 'n tromstel. Die opstelling word

	OH	S_b	S_o	T_1	T_2
Oorhoofs (OH)	•	256	355	230	180
Snaartrom Bo (S_b)	256	•	102	119	139
Snaartrom Onder (S_o)	355	102	•	186	206
Tom 1 (T_1)	230	119	186	•	113
Tom 2 (T_2)	180	139	206	113	•

Tabel 8.2: Verhouding in tyd (*ms*) tussen mikrofone op tromstel

egter beperk tot 'n vaste panoramiese as en 'n naby-koïnsidente mikrofoontegniek. Die toonkleur van die kolmikrofone word bepaal deur die hoek relatief tot die tromvel en die afstand. Die opname-tegnikus kan dus 'n verlangde toonkleur vorm deur verstellings aan die afstand en hoek van die kolmikrofone aan te bring. Die vertraging van kolmikrofone relatief tot die oorhoofse mikrofone kom neer op 'n weegskaal tussen voor- en nadele. Dit is uiters moeilik om die mate van fase-kansellaties te voorspel, maar die opname-tegnikus kan ingeligte besluite neem oor die opstelling as die moontlikheid van fase-kansellaties in ag geneem word.

Gevolgtrekking

"Experience, to be sure, is the only real teacher in the art of recording. There are so many subtleties to comprehend, so much mechanical finesse to grasp, that no written instructions could ever amount to more than a rough and ready guide." (Seymour, 1918:84)

'n Opname van klassieke of populêre musiek kan onder optimale omstandighede slegs 'n illusie van die bron weergee, met die brein wat van die tekortkominge in die oordragsfunksie 'aanvul' en die waarneming meer natuurgetrou maak (Linkwitz & Barringer, 2009:4) en, dit word algemeen aanvaar dat daar geen reëls in die opname van populêre musiek bestaan nie (Rudolph & Leonard, 2001:115) (Weiss, 2007:47). Vanuit die perspektief van die kunstenaar het Andrea Bocelli in 'n onderhoud gesê dat die vryheid van reëls in populêre musiek kunstenaars toelaat 'om hulle verbeelding te kan gebruik' ten opsigte van die skeppende en herskeppende prosesse, anders as in die klassieke opnamebedryf (Wornden, 1991:16).

Alhoewel populêre musiekopnames die opname-tegnikus meer vryheid gun om toonkleure of akoestiese ruimtes te skep wat geen gelyke in die natuur het nie, bly die uitdaging dat dit wat geskep word as 'n 'realistiese illusie' (Moorefield, 2006:xiii) deur die luisteraar ervaar word. Die voorafgaande hoofstukke lê 'n teoretiese basis met bewese uitkomst om hierdie uitdaging te kan bereik.

Hennion (1989:406) beskryf die ateljee waar populêre musiek opgeneem word as 'n laboratorium waar 'vervaardigers¹ musikale eksperimente doen'. Vervaardigers van populêre musiek is bekend daarvoor dat hulle allerlei subjektiewe terme gebruik om die klank wat hulle verlang te beskryf (Blacking, 1981:12). Die uitdaging van die opname-tegnikus is om hierdie subjektiewe terminologie te kan verbind met subjektiewe

¹Engels: *Producer*

eienskappe, en kennis te beskik oor al die elemente wat dit beïnvloed. Møller (1979a:386) se gevolgtrekking dat alle elemente wat 'n klanksein beïnvloed word verbind kan word aan 'n meetbare eienskap word ondersteun in hierdie studie, met die uitsondering van die persepsie van omvouing². Die werk van Bradley & Soulodre (1995), Griesinger (1999) en Mason & Rumsey (2000) bevestig dat daar nog navorsing nodig is in die waarneming van omvouing.

Daar is 'n ou stelling in die rekenaarwetenskap wat lei: Gemors in, gemors uit (Holtz & Hobson, 2000:98). Hierdie stelling dra net soveel gewig in die veld van klankopnames. Die mikrofoon in samewerking met die plasing daarvan, is een van die grootste invloede op die toonkleur wat opgeneem word. Deur kennis te dra van al die elemente wat, en die mate waarmee dit, die oordragsfunksie van 'n klanksein beïnvloed kan die opname-tegnikus die verskeie veranderlikes in die plasing van 'n mikrofoon aanwend om 'n spesifieke resultaat te verkry. Mikrofoontegniese wat op eksperimentering en geluk berus kan eerder benader word vanuit 'n wetenskaplike raamwerk om tot 'n meer effektiewe werkswyse te lei. Soos die voorafgaande hoofstukke aandui bestaan daar vele veranderlikes ten opsigte van mikrofoontegniese, en die uitdaging van die opname-tegnikus is om hierdie veranderlikes te kan prioritiseer in die orde van die invloed wat dit op die verlangde uitkoms sal hê.

Die verandering van een element, byvoorbeeld deur 'n mikrofoon nader aan die bron te plaas om 'n toename in lae frekwensies te bewerkstellig, beïnvloed die verhouding tussen die direkte en weerkaatste klank, die spektrale balans en die sein-tot-ruis verhouding. Hierdie interafhanklikheid van die elemente wat deur die plasing van 'n mikrofoon beïnvloed word moet deeglik deur die opname-tegnikus verstaan word om 'n balans te kan handhaaf tussen die gewenste en ongewenste eienskappe van 'n klanksein.

Alhoewel dit insig en beplanning van die tegnikus vereis, is dit 'n beter opsie om die verlangde uitkomstes van 'n opname deur mikrofoontegniese te bereik in plaas van seinverwerking. Waar bronmateriaal deur wetenskaplik gegronde mikrofoontegniese opgeneem is met die verlangde uitkomste in ag genome, kan seinverwerking aangewend word om die opname verder te verbeter in plaas daarvan om die bronmateriaal tot op 'n aanvaarbare vlak te verwerk.

Tradisionele mikrofoontegniese bly relevant vir populêre musiek aangesien soveel van die verlangde uitkomste tussen klassieke en populêre opnames op baie gebiede ooreenstem. Alhoewel die tegnieke wat in populêre opnames gebruik word met meer vryheid benader kan word, bly die tradisionele tegnieke, en veral die wetenskap waarop dit berus, 'n goeie vertrekpunt.

²Engels: *Envelopment*

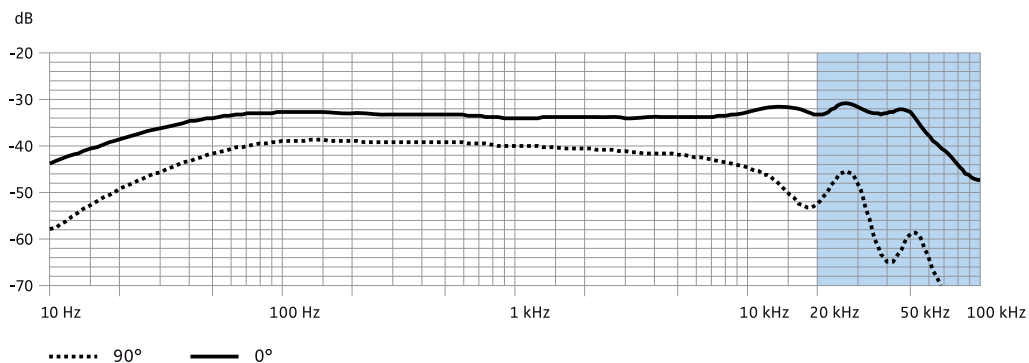
"In reality, recording is not an engineering discipline. It is an art that makes, or should make, strong and systematic use of engineering tools and methods." (Burkowitz, 1977:873)

Bylaes

Seinpad van Toetsopnames

A.1 Mikrofone

Tensy anders gespesifiseer is alle opnames en vergelykings gedoen met SENNHEISER MKH 8040 mikrofone. Dit is 'n radio-frekwensie (RF) kapasitor mikrofoon met 'n niervormige poolpatroon en 'n frekwensie bandwydte van 20–50 000Hz (fig. A.1). Die RF beginsel van die MKH 8040 berus op 'n draerfrekwensie rondom 8MHz wat deur 'n ossillator voorsien word. Die diafragma moduleer die draerfrekwensie en die klank word onttrek deur 'n stroombaan in die mikrofoon (White, 1999:27). Dit is uitstekende toetsmikrofoon as gevolg van die gelyke en uitgebreide frekwensie bandwydte. RF mikrofone is ook relatief immuun teen verskille in humiditeit (Müller & Holstein, 2004:1).



Figuur A.1: SENNHEISER MKH 8040 frekwensie-oordrag (515895/A01)

A.2 Voorversterker

Die funksie van 'n voorversterker is om 'n lae seinstroom vanaf 'n mikrofoon te versterk. Die versterking word gedoen deur of die seinspanning te verhoog, of die impedansie te verlaag. Ruisvlakke, hetsy vanaf die bron of van die voorversterker self, is een van die mees belangrikste eienskappe in die ontwerp van 'n voorversterker (Korzekwa & McFadyen, 2004:11-18). Die Buzz¹ MA 2.2 is 'n stereo Klas A transistor voorversterker handgemaak in Nieu-Seeland. Dit laat 'n aanwinst van 16–64dB toe, en beskik oor 'n frekwensie-bandwydte van 20–250,000Hz (Robjohns, 2002). Die gebruikershandleiding lys die volgende spesifikasies: (MA 2.2 User Manual V1:9)

Min Gain	+16dB (-4dB with pad in)
Max Gain	+65dB
Maximum Output Level.....	+24dBu unbalanced.
Frequency Response	20Hz to 250kHz @ 20dB gain (-3dB).
.....	20Hz to 250kHz @ 65dB gain (-3dB).
Harmonic Distortion	less than 0.008% 100Hz to 10kHz.
Slew Rate	140 V/uS, @ +20dBu output level.
EIN	-133.5dB A wtg, 150ohm source Z.
Signal to Noise Ratio	-74dBu A wtg, input shorted.
CMNR	100Hz-80dB, 1kHz -80dB, 10kHz-70dB.
Channel Crosstalk	below noise.
Input Impedance	3k ohms/1k2 ohms switchable

A.3 Versyferaar

'n Digitale klanksein is 'n diskrete-tyd, diskrete-amplitude voorstelling van die oorspronklike analoog sein. Die akkuraatheid van die digitale voorstelling van die analoog kurwe hang af van die aantal bisse en monsters per sekonde (Martin & Aarts, 2004a:20-37). Die monster-teorie vereis dat analoë seine met 'n bandwydte nie groter as f verteenwoordig moet word deur $2f$ monsters per sekonde om 'n akkurate sein te verkry (Woszczyk, 1991:2).

Die versyferaar gebruik in die eksperimente is 'n pasgemaakte eenheid, gebaseer op die TEXAS INSTRUMENTS PCM4222EVM analoog-na-digitale versyferaar (SBAU124). Die geïntegreerde stroombaan verantwoordelik vir die omsetting is die Burr-Brown PCM4222 (SBAS399A). Die eenheid beskik oor twee kanale en laat 24-bis bemonstering toe teen

¹<http://www.buzzaudio.com>

tempos tot $216kHz$. AES/EBU² en SPDIF³ digitale uittores is beskikbaar. Tensy anders vermeld is alle opnames gedoen teen 'n 24-bis, $44.1kHz$ monsteringstempo en digitale oordrag het geskied via die AES/EBU koppelvlak.

²Die AES/EBU, offisiël bekend as AES3, digitale koppelvlak is in 1995 bekendgestel en laat meerkanaal digitale oordrag toe met sinkronisasie oor 'n standaard XLR gebalanseerde kabel (Watkinson, 2002:250).

³Die SONY/PHILIPS Digital interface is die verbruiker-weergawe van die AES3 koppelvlak en word gevind op toerusting soos laserskyf-spelers (Rumsey, 1991:93). Soos AES3 stuur SPDIF klankdata, sinkronisasie informasie, en subkode data oor 'n enkele seriële informasie kanaal (Dunn & Hawsford, 1992:2). SPDIF, ook bekend as IEC958 tipe 2, verskil egter op elektriese vlak van AES3 aangesien dit 'n 75 ohm koaksiale verbinding gebruik met RCA sokke (Brice, 2003:67).

Analises

B.1 Sagteware

Verskeie sagteware pakkette is gebruik vir analises. GNU *Octave*¹ is 'n hoëvlak rekenartaal vir numeriese bewerkings. Dit beskik oor 'n reël-opdrag koppelvlak om liniêre- en nie-liniêre probleme op te los. *Spectutils*² is 'n versameling van klankanalise werktuie wat ossilogramme, FFT spektrogramme, en toonhoogte analise kan doen (Lassfolk & Uimonen, 2008). Grafiese voorstelling van bogenoemde word hanteer deur *GnuPlot*³, 'n twee- en driedimensionele stip pakket met 'n aanvoerlyn koppelvlak (Chen, 2003:283), wat vektorgrafika in *Aquterm*⁴ produseer, met die opsie om dit as .pdf of .eps lêers te stoor (Jepson & Rothman, 2005:208). As gevolg van ou kode in *Spectutils* wat nie goed met nuwe weergawes van *Octave* saamwerk nie, is die rekenartaal *Python*⁵ ook aangewend. *Python* se voordele sluit in die eenvoud van die sintaks en die groot hoeveelheid wetenskaplike pakkette wat beskikbaar is om simulاسie, visualisering en analise te dek (Langtangen, 2009:2).

Ander pakkette wat ook gebruik is sluit in *Audacity*⁶ en *SOX*⁷. *Audacity* is 'n kruisplatvorm oopbron klankmanipulasieprogram met 'n grafiese koppelvlak. *Audacity* beskik oor 'n groot versameling sein-verwerkers en analise gereedskap. *Audacity* se spektrumanalises gee die gebruiker vele opsies in die analise soos 'n keuse tussen Hanning-,

¹<http://www.gnu.org/software/octave/>

²<http://www.music.helsinki.fi/research/spectutils/>

³<http://www.gnuplot.info/>

⁴<http://aquaterm.sourceforge.net/>

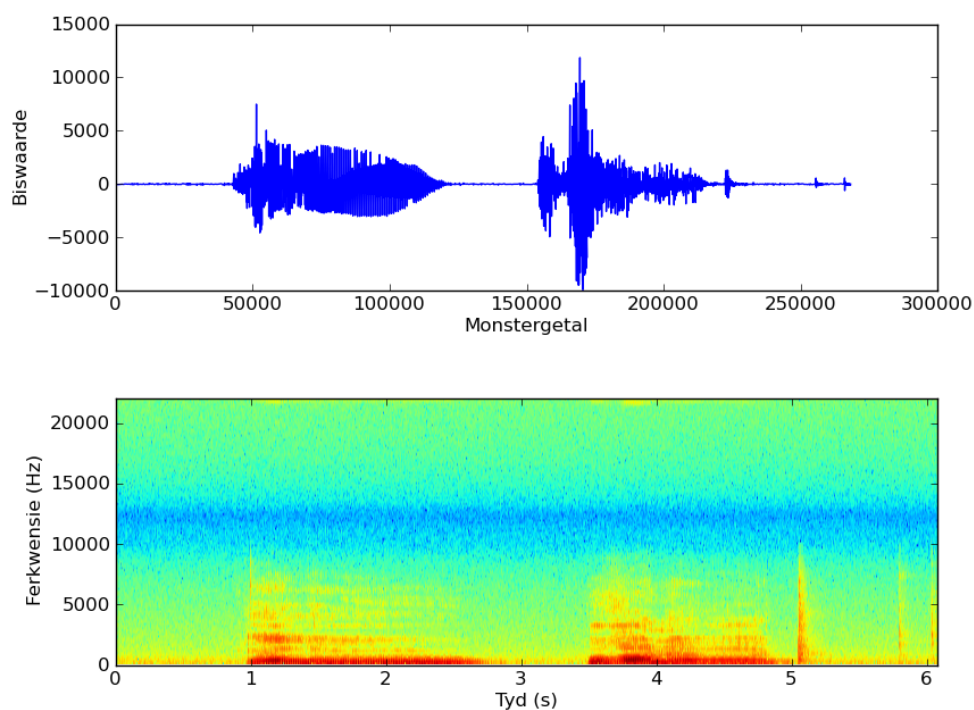
⁵*Python* is geskep deur Guido van Rossum terwyl hy gewerk het by die *Centrum Wiskunde & Informatica* in Amsterdam om homself besig te hou oor 'n kersvakansie (Holden, 2002:5). <http://www.python.org/>

⁶<http://audacity.sourceforge.net/>

⁷<http://sox.sourceforge.net/>

Hamming-, Blackman-, Welch-, en Bartlett vensters, liniêre of logaritmiëse vertoon van frekwensies en vensterwydte van die FFT analise (Truesdell, 2007:260). *SOX (Sound Exchange)* is 'n oopbron aanvoerlyn toepassing vir POSIX⁸ stelsels wat deur baie klanktoepassings gebruik word vir klankverwerking. Dit lees en skryf 'n groot hoeveelheid klankformate en kan ook effekte aanbring en analyses doen (Gibbon *et al.*, 2000:307) (Rankin, 2006:96).

B.1.1 *Python* Golfleser Kode



Figuur B.1: Uittree van golfleser kode

Golfleser gebruik die *Python* module *pylab* om 'n klankgolf te lees en die reeksdata uit te stip. Die program word vanaf die aanvoerlyn geroep deur `python golfleser.py` met die klanklêer as argument byvoorbeeld:

```
$ python golfleser.py klanvoorbeeld.wav
```

⁸POSIX wat staan vir die *Portable Operating System Interface (for Unix)* is 'n groep IEEE standaard wat van toepassing is op die basiese bedryfstelsel koppelvlak van UNIX rekenaarstelsels (Lewine, 1991:6).

Die uittree van Golfleser is 'n golfkruin en 'n spektrogram (fig. B.1). Spektrogramme is meer effektief as 'n Fourier-reeks om vinnige veranderinge in die samestelling van frekwensies van 'n sein uit te wys. 'n Voorbeeld van vinnige veranderinge in die frekwensie-samestelling is die oorgange tussen verskillende note (Alm & Walker, 2002).

```

"""
=====
Python program wat 'n golf-
vorm en spektrogram genereer
=====
"""

#!/usr/bin/env python
import sys
from pylab import *
import wave

def wys_golf_n_spek(klankleer):
    spf = wave.open(klankleer, 'r')
    sound_info = spf.readframes(-1)
    sound_info = fromstring(sound_info, 'Int16')
    f = spf.getframerate()

    subplot(211)
    plot(sound_info)
    #title('Golf en spektrogram van %s' % sys.argv[1])
    ylabel('Biswaarde')
    xlabel('Monstergetal')

    subplot(212)
    spectrogram = specgram(sound_info, Fs = f, scale_by_freq=True)
    ylabel('Frekwensie (Hz)')
    xlabel('Tyd (s)')

    show()
    spf.close()

fil = sys.argv[1]

wys_golf_n_spek(fil)

```

B.1.2 GNU Octave Kode

B.1.2.1 Golfvergelijkings

```
subplot (2, 1, 1)
[s, fs] = wavread('INTREE1.wav', 6);
plot(s),axis tight,grid on
legend('Transformator','location','northwest')
ylabel('Magnitude');
subplot (2, 1, 2)
[k, bs] = wavread('INTREE2', 6);
plot(k),axis tight,grid on
legend('Kontrolle','location','northwest')
xlabel('Monsters');
ylabel('Magnitude');
print -dpdf UITTREE.pdf
```

B.1.2.2 FFT

```
[snd, sampFreq, nBits] = wavread('INTREE.wav');
size(snd)
s1 = snd(:,1);
timeArray = (0:5060-1) / sampFreq;
timeArray = timeArray * 1000; %scale to milliseconds
plot(timeArray, s1, 'k')
n = length(s1);
p = fft(s1); % take the fourier transform
n = length(s1);
p = fft(s1); % take the fourier transform
nUniquePts = ceil((n+1)/2);
p = p(1:nUniquePts); % select just the first half since the second half
                        % is a mirror image of the first
p = abs(p); % take the absolute value, or the magnitude
p = p/n; % scale by the number of points so that
           % the magnitude does not depend on the length
           % of the signal or on its sampling frequency
p = p.^2; % square it to get the power

% multiply by two (see technical document for details)
if rem(n, 2) % odd nfft excludes Nyquist point
    p(2:end) = p(2:end)*2;
else
    p(2:end -1) = p(2:end -1)*2;
end
freqArray = (0:nUniquePts-1) * (sampFreq / n); % create the frequency array
plot(freqArray/1000, 10*log10(p), 'b')
legend('Pienk ruis');
```

```

xlabel('Frekwensie (kHz)');
ylabel('Intensiteit (dBV)');
set(gca, 'XGrid', 'on');
set(gca, 'YGrid', 'on');
print -dpdf UITTREE.pdf

```

B.1.3 Kragsspektra

```

function analyze(file)
% Matlab function analyze(file)
% plots the waveform and power spectrum of a wav sound file.
% For example, type analyze('piano.wav') at the Matlab prompt.
%
% Mark R. Petersen, U. of Colorado Boulder Applied Math Dept, Feb 2004

[y, Fs] = wavread(file);      % y is sound data, Fs is sample frequency.
t = (1:length(y))/Fs;        % time

ind = find(t>0.1 & t<0.12);  % set time duration for waveform plot
figure;
plot(t(ind),y(ind))
axis tight
title(['Waveform of ' file])

N = 2^12;                    % number of points to analyze
c = fft(y(1:N))/N;           % compute fft of sound data
p = 2*abs( c(2:N/2));         % compute power at each frequency
f = (1:N/2-1)*Fs/N;          % frequency corresponding to p

semilogy(f,p)
axis([0 4000 10^-4 1]);
xlabel('Frekwensie (Hz)');
ylabel('Absolute Orde-grootte');
legend('Mikrofoon B');
set(gca, 'XGrid', 'on');
set(gca, 'YGrid', 'on');
print -dpdf UITTREE.pdf

```

B.1.3.1 Spektrogramme

'n Spektrogram funksie van Ellis (2004) is gebruik wat verskil van die standaard MATLAB funksie deur die frekwensie-as logaritmies voor te stel.

```
[d,sr] = wavread('INTREE.wav');
```

```
myspecgram(d,1024,sr);  
xlabel('Tyd (s)');  
ylabel('Frekwensie');  
title('TITEL');  
colorbar;  
print -dpdf UITTREE.pdf
```

Eksperimente

C.1 Poolpatroon en Gerigtheid

Die reaksie van verskeie poolpatrone ten opsigte van die polariteit van 'n intreesein is ondersoek.

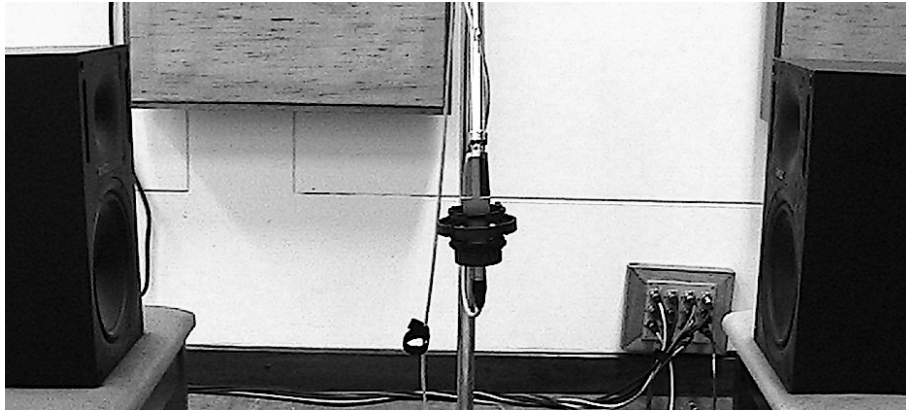
C.1.1 Metodologie

Twee GENELEC 1031A (1031-0107-6) luidsprekers is opgestel aan weerskante van 'n AKG C414 EB¹ mikrofoon (fig. C.1 & C.2). 'n Pulsgolf is afsonderlik gestuur na beide luidsprekers en opgeneem. Die eksperiment is drie keer herhaal met die verskillende poolpatrone.



Figuur C.1: Polariteit-verhouding tussen 0° en 180° as op 'n verskillende poolpatrone.

¹Die AKG C414 EB (*Extended Bass*) is gekendgestel in die laat sewentigs. Dit bestaan uit 'n silwer metaal dop en die eerste modelle is toegerus met die koper CK-12 kapsule, terwyl later modelle die nuwe plastiek kapsules bevat. Die mikrofoon kan werk op 'n skimkragbron van 9–48V (Owsinski, 2005:36).



Figuur C.2: Opstelling van eksperiment

C.1.2 Resultate en Gevolgtrekking

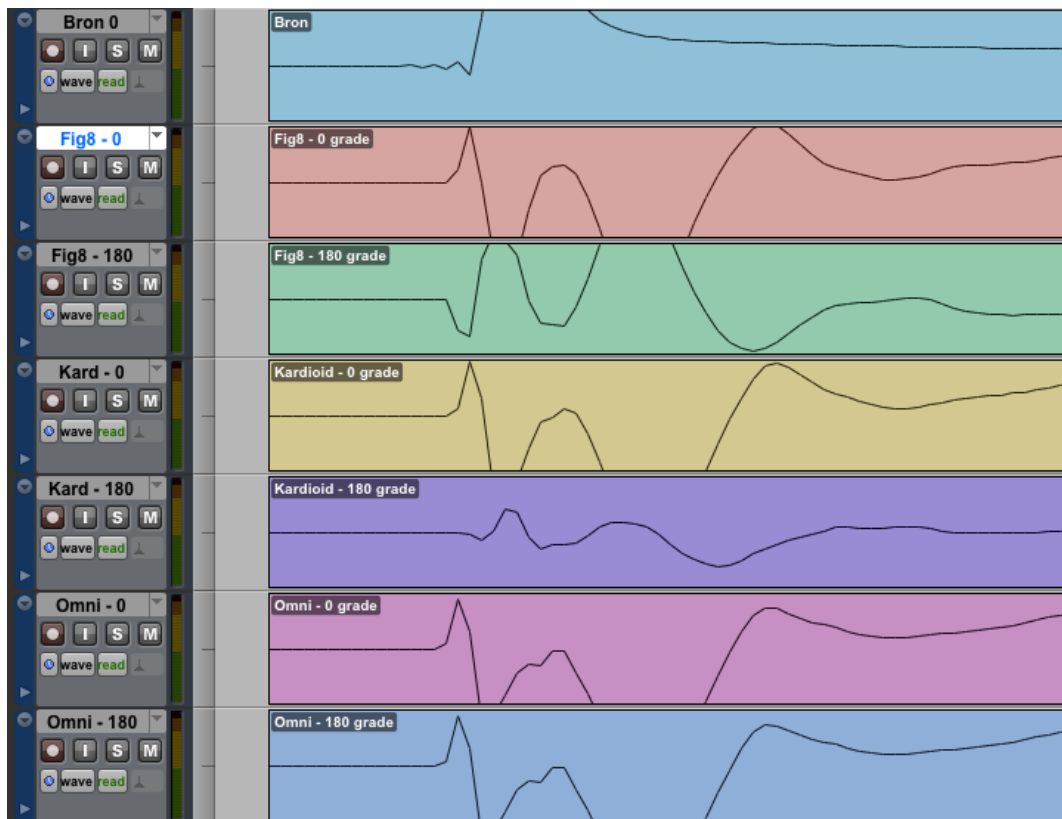
Daar is gevind dat die alomgerigte poolpatroon geen verskil in polariteit registreer op die twee asse nie. Die agt-figuur mikrofoon het 'n omgekeerde polariteit op die verskillende asse, terwyl die niervormige mikrofoon ook 'n verskil in polariteit het, alhoewel die 180° sein baie laer in intensiteit is.

C.2 Shure SM57 Transformator Vergelyking

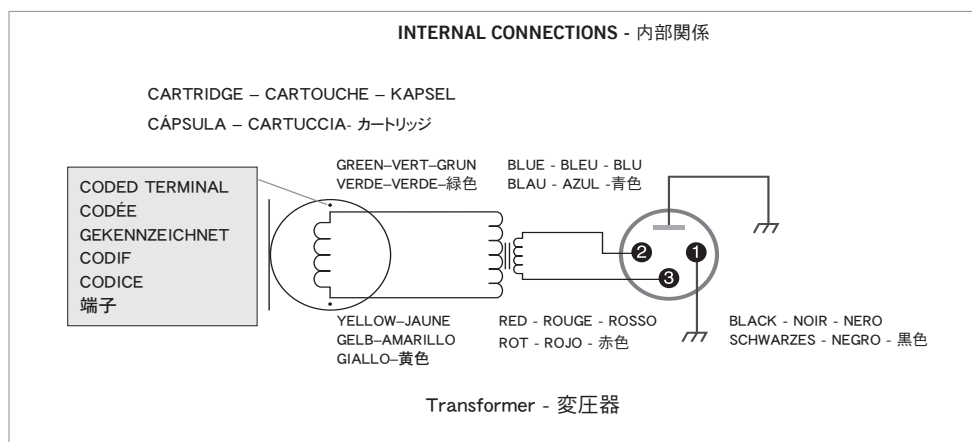
C.2.1 Agtergrond

Die SHURE SM57 is dinamiese instrumentmikrofoon met 'n frekwensie bandwydte van 40 – 15 000 Hz en met 'n niervormige poolpatroon. Die sensitiwiteit getoets teen 1kHz gee 'n oopstroombaan stroom van -56.0dBV/Pa . Impedansie is 310Ω (27D2903, Rev. 2). 'n Patent vir die mikrofoon is in 1966 uitgereik. Seeler (1966) en Owsinski (2005) beskryf die SM57 as die tweede gewildste mikrofoon in die wêreld, naas die SHURE SM58, en dit word algemeen gebruik in lewendige klankversterking en opnames vir kitaarversterkers en snaartromme.

Die verwydering van die transformator is gewild onder opname-tegnici omdat dit volgens sommige 'n 'aangenamer, meer deursigtige klank' gee wat minder effening vereis. Een van die nadele is dat die uittreesein as gevolg van die afwesigheid van die transformator verlaag (Tingen, 2008).



Figuur C.3: Polariteit-verhouding tussen 0° en 180° as op 'n drukgradiënt mikrofoon.

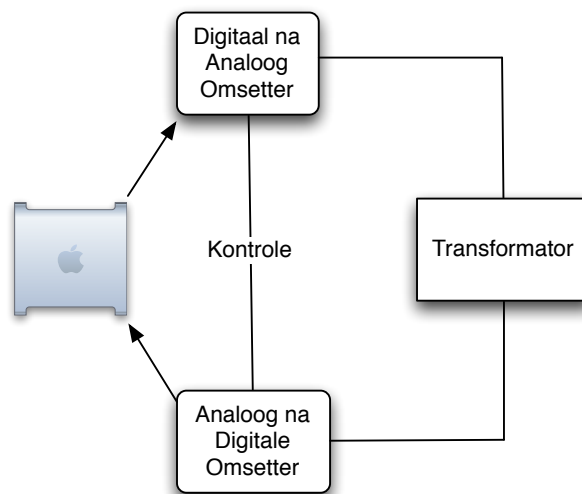


Figuur C.4: Vereenvoudigde Shure SM57 Skematiek.(27D2903 , Rev. 2:12)

C.2.2 Metodologie

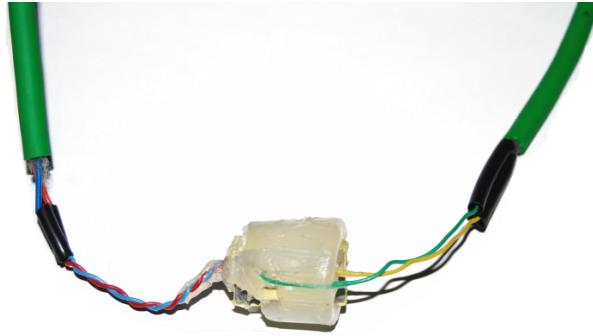
Die eksperiment poog om te bepaal watter verskil die aanwesigheid van die transformator maak op die frekwensie-oordrag en oorgangsverskynsel. Om eksterne invloede tot die minimum beperk is daar nie van 'n klankbron gebruik gemaak nie, maar slegs 'n toetssein deur die transformator gestuur. Die oorgangsverskynsel van 'n mikrofoon is tradisioneel getoets deur 'n elektriese vonk as klankbron te gebruik en die resultaat op 'n ossilloskoop te vertoon (Woszczyk, 2003:3). Geweerskote en drukvaste ruimtes wat met membrane bedek is, is ook as toetsbronne gebruik (Langen, 2007:2). Die oorgangsverskynsel van 'n toestel kan egter ook voorspel word deur die frekwensie-oordrag solank die toestel binne die liniêre bandwydte aangewend word (Killion & Carlson, 1974:242).

Aangesien die kapsule se invloed in hierdie eksperiment nie van belang is nie is 'n toetssein ($-20dB_V$ pienk ruis en 'n $-20dB_V$ puls) vanuit 'n sagteware program gestuur (fig. C.5) via die transformator (fig. C.6) en weer opgeneem. As kontrole is dieselfde sein deur dieselfde analoog omsetter en versyferaar gestuur. In geval van die pienk ruis is die polariteit omgekeer en die twee seine gesommeer om die verskil te bepaal, die sogenaamde nul-toets².



Figuur C.5: Opstelling van die transformator eksperiment

²Die nul toets is nie in alle gevalle 'n baie effektiewe toets nie, veral waar daar 'n frekwensie-onafhanklike groepsvertraging is wat sal lei tot nie goeie resultate, terwyl daar in praktyk geen lineêre afwyking is nie (Jensen & Sokolich, 1998:2) (Dunn & Hawsford, 1991:2). Die voordeel van die nul-toets is dat mens na die elemente wat nie ooreenstem nie kan luister in isolasie (Stuart, 1991:11).



Figuur C.6: Koppelling van die SM57 transformator

C.2.3 Resultate en Gevolgtrekkings

Die verskil in stroomsterkte van die twee seine is die gevolg van die effektiewe stroom aanwinst wat veroorsaak word deur die verhouding tussen die groter verhouding van sekondêre windings teenoor die primêre windings (Kovinic *et al.*, 2009:2). Verskil in frekwensie-oordrag kan verklaar word deur die widing kapasitansies wat resonansies vorm met die induksies, terwyl die primêre windingsweerstand bydra tot die weerstand van die sekondêre winding wat die bron-impedansie verhoog en seinverlies veroorsaak (Dove, 2002:730). Vervorming vind plaas in transformatore as gevolg van ferromagnetiese kern vervorming, as gevolg van die nie-liniêre magnetiese eienskappe van staal (Lehnert, 1953:107).

C.3 Verwydering van OKTAVA M 319 Dop

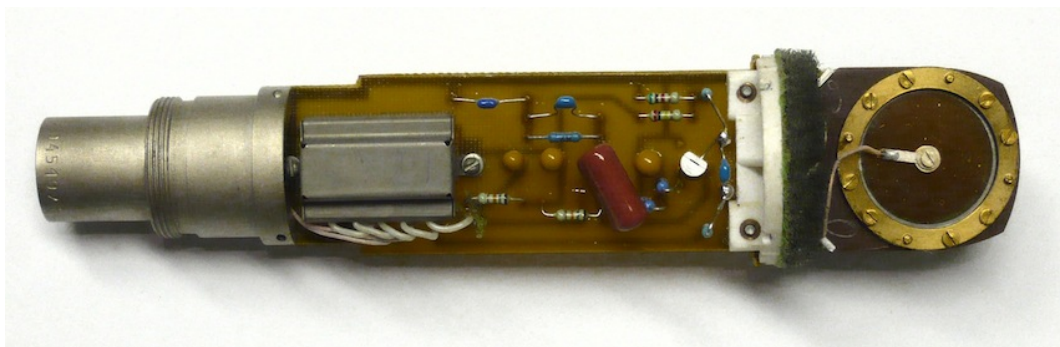
C.3.1 Agtergrond

Die metaal dop van 'n mikrofoon staan ten doel om 'n Faraday-skerm te skep teen interferensie van enige aard (Schneider, 2005). Om die effektiwiteit van hierdie skerm te toets is die omhulsel van 'n OKTAVA³ MK319 verwyder en die invloed van die interferensie waargeneem. OKTAVA vervaardig sedert 1927 mikrofone in Tula, Rusland (DeLapp, 2007). Die MK319 (fig. C.7) is 'n kapasitor mikrofoon met 'n niervormige poolpaatruon en 'n frekwensie bandwydte van 40–18 000 Hz (Oktava, 2006). Daar is besluit op die spesifieke mikrofoon vir die eksperiment aangesien dit eenvoudig is om die dop te verwyder (fig. C.8).

³http://home.tula.net/oktava/index_e.htm



Figuur C.7: OKTAVA M 319



Figuur C.8: OKTAVA M 319 sonder dop

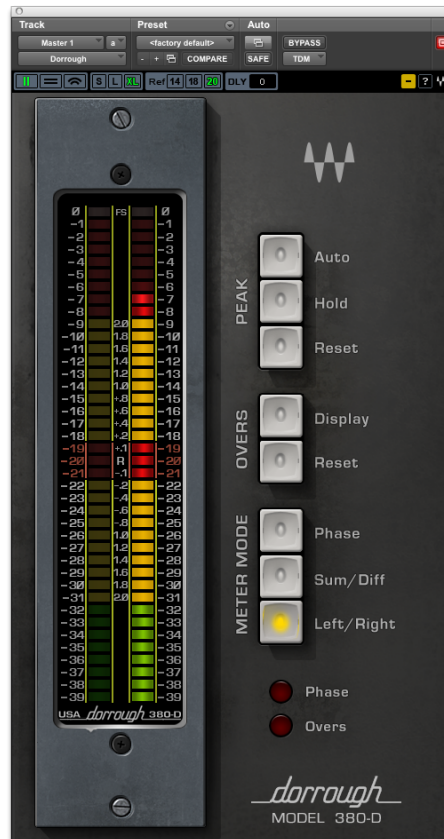
C.3.2 Metodologie

Vir resultaat A is die mikrofoon op 'n staander geplaas in 'n stil omgewing en 'n paar sekondes se klank is opgeneem deur die standaard voorversterker en omsetter soos gespesifiseer in Addendum A, met 'n aanwins van 20dB. Die dop is verwyder (fig. C.8) en die proses is herhaal vir resultaat B. 'n GNU Octave analise van die sein het gevolg.

C.3.3 Resultate en Gevolgtrekking

Die verwydering van die dop het hoë ruisvlakke tot gevolg. 'n DORROUGH Loudness Meter⁴ is gebruik om die verskillende grafies voor te stel (fig. C.9). In hierdie geval is die ruisvlakke van die mikrofoon met die dop so laag dat dit nie op die meter registreer nie.

⁴Andersen (1985) se meter is 'n poging om die uitdaging van die meting van luidheid aan te spreek deur die gemiddelde sein en die piekwaardes op een meter te kombineer (Burden & Dorrough, 1987:1).



Figuur C.9: Invloed van die dop op ruisvlakke. Die linker-kanaal is met die dop en die regter-kanaal sonder

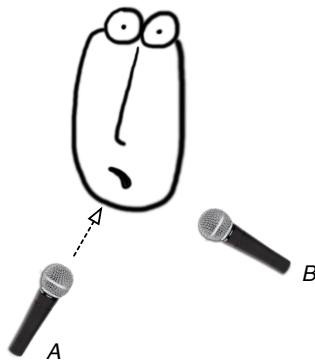
C.4 Skokgolwe Veroorsaak deur Lug-turbulensie

C.4.1 Metodologie

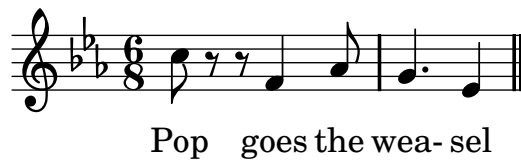
Twee mikrofone is opgestel ewe vêr van 'n sanger se mond met die een van voor op die mond gerig en die ander vanaf die kant (fig. C.10). 'n Sanger is gevra om 'n paar mate uit die liedjie *Pop goes the Weasel* (fig. C.11) te sing. Die seine van beide mikrofone is opgeneem en Fourier-analises is gestip.

C.4.2 Gevolgtrekking

Alle transduktore het 'n maksimum ekskursie waarbuite die oordrag nie meer liniêr is nie (Mitchell, 2002:517). Die turbulensie veroorsaak deur die woord 'pop' het 'n skokgolf genereer in die mikrofoon wat van voor



Figuur C.10: Die generering van frekwensies nie teenwoordig in bron



Figuur C.11: *Pop goes the Weasel* soos verwerk deur Twigg (1853)

op die mond gerig is. Die skokgolf is sigbaar as oormatige lae-frekwensie energie op die Fourier analise.

C.5 Lukrake Histogramme

C.5.1 Doelstelling

'n Lukrake samestelling van 'n lys van populêre musiek komposisies is verlang vir 'n analise. In plaas daarvan om 'n databasis met duisende liedjies op te stel is daar besluit om lukrake datums te genereer deur middel van sagteware, wat dan gekoppel sal word aan die die top *Billboard* treffer van die gegewe datum.

C.5.2 Metodologie

C.5.2.1 Lukrake Datum Generator

```
"""
=====
Python program wat 'n lukrake tydstop
genereer binne 'n gegewe tydperk
```

```

=====
"""

from random import randrange
from datetime import timedelta, datetime

def random_date(start, end):
    delta = end - start
    int_delta = (delta.days * 24 * 60 * 60) + delta.seconds
    random_second = randrange(int_delta)
    return (start + timedelta(seconds=random_second))

d1 = datetime.strptime('1/1/1958 1:30 PM', '%m/%d/%Y %I:%M %p')
d2 = datetime.strptime('1/1/2008 4:50 AM', '%m/%d/%Y %I:%M %p')

print random_date(d1, d2)

```

C.5.2.2 Uittree van die Lukrake Generator

Datum	Kunstenaar	Werk
01/30/1999	Britney Spears	Baby One More Time
01/29/1972	Don Mclean	American Pie
03/11/1984	Van Halen	Jump
06/19/2006	Shakira & Wyclef Jean	Hips Don't Lie
11/22/1988	Bon Jovi	Bad Medicine
01/27/1973	Stevie Wonder	Superstition
01/09/1965	THE BEATLES	I Feel Fine
12/23/1981	Olivia Newton-John	Physical
01/07/1994	Mariah Carey	Hero
08/28/1960	Elvis Presley	It's Now or Never

Tabel C.1: Lukrake *Billboard* treffers 1958 - 2008

C.5.3 Resultate en Gevolgtrekkings

Op grond van die akkurate genre-klassifikasies wat gedoen word deur Aucouturier & Pachet (2003), Goto & Hirata (2004), Umapathy *et al.* (2005) en Jiang *et al.* (2002), deur slegs op spektrale verspreiding staat te maak, is daar besef dat die eksperiment nie akkurate resultate sou toon nie.

C.6 Luidsprekerkeël Frekwensie Vergelyking

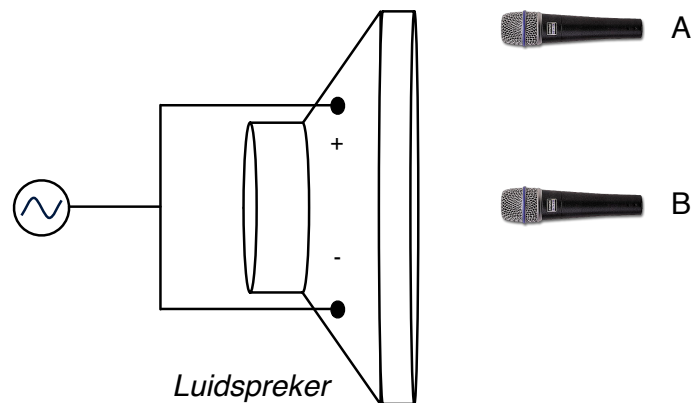
C.6.1 Doelstelling

'n Onderzoek is geloods om vas te stel of 'n luidsprekerkeël 'n verskillende frekwensie-oordrag vertoon op verskillende dele van die keël.

C.6.2 Metodologie

'n Laney *LionHeart* L20H kitaarversterker is gekoppel aan 'n Laney *LionHeart* LT-212 luidsprekerkabinet. Die L20H versterker is 'n 20W Klas A vakuumbuis versterker met 3 12AX7 buise in die voorversterker en 4 EL84 buise in die kragversterker en beskik oor 'n veer nagalm eenheid. (L20H Manual 2007 Issue 1.2:15) Die Laney *LionHeart* LT-212 luidsprekerkabinet is gelaai met twee 12" CELESTION *Heritage* G12H 16 Ω luidsprekers, wat die kabinet 'n werstand van 8 Ω besorg en 'n kraglewering van 60W. (LT-212 Manual 2007 Issue 1:3) Die standaard mikrofone, voorversterkers en omsetters soos beskryf in Bylae A is gebruik (fig. C.12).

Long (2005) se voorstel is gevolg om die luidspreker se posisie met behulp van 'n flits te vind. Een mikrofoon is geplaas in die middel van die luidsprekerkeël en die ander mikrofoon teen die rand. Pienk ruis is gestuur na die versterker en die sein van beide mikrofone is opgeneem. Fourier-analises van beide seine is gestip.



Figuur C.12: Frekwensieverskille op luidsprekerkeël

C.6.3 Gevolgtrekking

In ooreenstemming met die eksperiment wat deur (Case, 2010:81) gedoen is is daar gevind dat daar baie minder hoë frekwensies teenwoordig teen die rand van die luidsprekerkeël. Dit word veroorsaak deur die gerigtheid wat al hoe nouer word teen hoë frekwensies, en dus is word hoë frekwensies veral gemeet by die kern van die luidsprekerkeël (Martin, 2004:20-26).

C.7 Toonkleur Relatief tot Sanger se Neus

C.7.1 Doelstelling

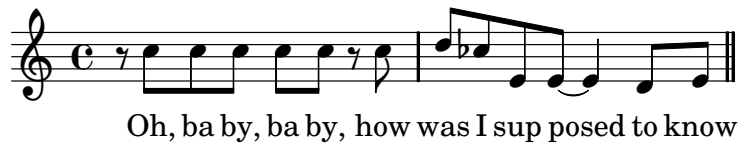
Dit is algemeen bekend dat die neus 'n groot rol speel as spraakorgaan (Seren, 2005:257) (Maeda, 1982:911). 'n Ondersoek is gedoen om vas te stel of die posisie van die mikrofoon relatief tot die neus van 'n sanger 'n rol speel in die toonkleur.

C.7.2 Metodologie

Twee mikrofone is geplaas ewe vêr van die mond van 'n sanger, bo en onder die mond (fig. C.13). Die sanger is gevra om ...*Baby one more time* (fig. C.14) te sing, 'n popliedjie geskryf deur Martin (Sandberg, 1998) (ook bekend as Max Martin) vir Britney Spears (Fig. C.15) en gepubliseer deur Zomba Enterprises. Gratz (2004:403) Die twee seine is opgeneem en 'n GNU Octave analise is gedoen.



Figuur C.13: Die sanger met twee mikrofone ewe vêr van die mond



Figuur C.14: ...*Baby one more time*



Figuur C.15: Britney Spears. (Rossman, 2003)

C.7.3 Resultate en Gevolgtrekking

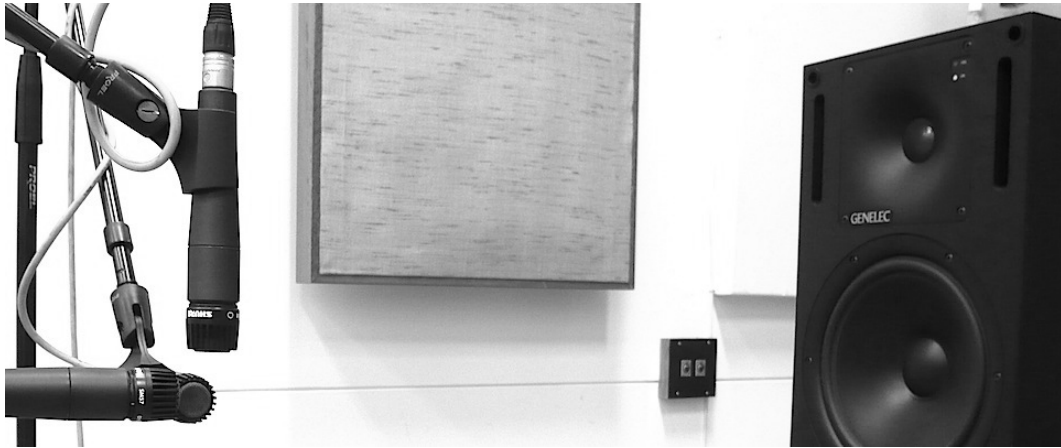
Die Fourier-analise wys dat die die klank van die twee mikrofone mikrofoon tot 'n groot mate verskil. Die mikrofoon nader aan die neus baie meer energie in die $1.5kHz$ area het, dit wat deur Katz (2002:43) as 'n 'nasale' frekwensie beskryf word. Die toonkleur van 'n sanger kan dus beïnvloed word deur die posisie van die mikrofoon relatief tot die neus.

C.8 Verhouding tussen Fase en Hoek van Mikrofoon

C.8.1 Metodologie

'n GENELEC 1031A (1031-0107-6) luidspreker is as 'n klankbron gebruik wat 'n pulsgolf terugspeel. Drie SHURE SM57 (27D2903 , Rev. 2) mikro-

fone is op 'n X-, Y- en Z-as geplaas relatief tot die luidspreker met die kapsules so na as moontlik aan mekaar (fig. C.16). Die drie seine is gelyktydig opgeneem en verskille in tyd is gemeet.



Figuur C.16: Opstelling van die fase en hoek eksperiment

C.8.2 Resultate en Gevolgtrekking

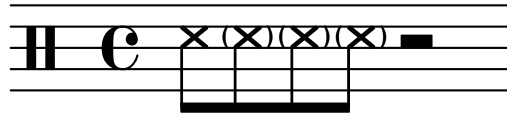
Geen verskille in tyd tussen die drie kanale is opgemerk nie. Dus het die hoek van die mikrofoon geen invloed op die fase van 'n sein nie. Waar die polariteit omgekeerd is as gevolg van die verskillende kante van 'n drukgradiënt mikrofoon sal daar wel kansellaries plaasvind.

C.9 Vergelyking van dinamiek

C.9.1 Metodologie

Om die verhouding tussen die dinamiek van 'n klanbron naby en vêr vanaf 'n mikrofoon te ondersoek is daar beplan om die volgende toets-opnames te maak: Twee bronne, stem en 'n snaartrom, sal onderskeidelik deur twee mikrofone opgeneem waarvan een mikrofoon teen die bron geplaas is en 'n ander verder. In geval van die stem sal die vêr mikrofoon 1m agter die naby mikrofoon geplaas word, en in die geval van die snaartrom, 3m. 'n Tromspeler sal gevra word om 'n spookrol⁵ (fig. C.17) te speel:

⁵n Rol wat bestaan uit een slag, gevolg deur spooknote soos die stokkie terugbons vanaf die vel en terugval. Gillet & Richard (2008:529) beskryf spooknote as "*de-emphasized strokes used to give a feeling of 'groove'.*"



Figuur C.17: Spookrol op snaartrom

'n Sanger sal gevra om die eerste woord van die bekende BEATLES liedjie *Yesterday* (fig. C.18) te sing. Dit is een van die BEATLES se mees kommersiële suksesvolle werke, (Price, 1997:221) en ook die werk waarvan die meeste dekweergawes ooit deur ander kunstenaars opgeneem is. (Franklib, 1993:83)



Yes ter day

Figuur C.18: Yesterday - Lennon/McCartney

C.9.2 Gevolgtrekking

Daar is egter besef voor die eksperiment uitgevoer is dat dit berus daarop dat die inverse-vierkantswet verskillend reageer op verskillende intensiteitsvlakke, wat nie die geval is nie. Die 'vergroete dinamiek' waarna Bartlett (1997) verwys is na die algemene toename in dinamiek, *piano* word byvoorbeeld *forte* as gevolg van die nabye plasing van 'n mikrofoon, en is nie van toepassing op die verhouding tussen die golfkruinkomponente in 'n sein nie.

Modulerings

D.1 Die Skep van 'n Niervormige Poolpatroon

D.1.1 Kode

```
figure;
theta = -180:5:180;
rho = 1 + cos(theta*pi/180);
dirplot(theta,rho,[2 0 5]);
title('Niervormige poolpatroon');
```

D.1.2 DIRPLOT funksie

```
function hpol = dirplot(theta,rho,line_style,params)
% DIRPLOT Polar directivity plot.
% A modification of The Mathworks POLAR function, DIRPLOT generates
% directivity plots in the style commonly used in acoustic and RF work.
% Features include:
% 1. Plots -90 to +90 or -180 to +180 degrees based on range of input
% THETA, with 0 degrees at top center.
% 2. Produces semicircular plots when plot range is -90 to +90 degrees.
% 3. RHO is assumed to be in decibels and may include negative
% values.
% 4. Default automatic rho-axis scaling in "scope knob" factors.
% 5. Optional PARAMS argument allows manual setting of rho-axis
% scaling.
%
% DIRPLOT(THETA, RHO) makes a plot using polar coordinates of the
% angle THETA versus the radius RHO. THETA must be in degrees, and
```

```

% must be within the range -180 to +180 degrees. If THETA is within
% the range -90 to +90 degrees, the plot will be semicircular. RHO is
% assumed to be in decibels and the values may be positive or negative
% or both. By default, with no PARAMS argument, rho-axis scaling will
% be determined automatically using scope knob factors of 1-2-5. By
% default, 10 ticks will be plotted. Note: Like POLAR, DIRPLOT does not
% rescale the axes when a new plot is added to a held graph.
%
% DIRPLOT(THETA, RHO, LINE_STYLE, PARAMS) makes a plot as described above
% using the linestyle specified in string LINE_STYLE, and using the rho-axis
% scaling specified in vector PARAMS. Either of these optional arguments may be
% used alone. Vector PARAMS is a 3-element row vector defined as
% [RHOMAX RHOMIN RHOTICKS]. String LINE_STYLE is the standard MATLAB linestyle
% string. See PLOT for a description.
%
% HPOL = DIRPLOT(...) returns a handle to the LINE object generated by the PLOT
% function that actually generates the plot in DIRPLOT.
%
% See also POLAR, PLOT, LOGLOG, SEMILOGX, SEMILOGY.
%
% Rev 1.0, 17 January 2002
% Tested in MATLAB v. 6.0
%
% Adapted from The MathWorks POLAR function by
% Steve Rickman
% sar@surewest.net

if nargin <= 1
    error('Requires 2, 3, or 4 input arguments.')
elseif nargin == 2
    line_style = 'auto';
elseif nargin == 3
    if isnumeric(line_style)
        params = line_style;
        line_style = 'auto';
    end
end
if exist('params')
    if length(params) ~= 3
        error('Argument PARAMS must be a 3-element vector:
        [RHOMAX RHOMIN RHOTICKS].')
    end
    if params(1) <= params(2)
        error('Error in PARAMS argument. RHOMAX must be greater than RHOMIN.')
    end
    if params(3) <= 0

```

```

        params(3) = 1;
        warning('Error in PARAMS argument. RTICKS set to 1.')
```

 end
end
if isstr(theta) | isstr(rho)
 error('THETA and RHO must be numeric.');
end
if ~isequal(size(theta),size(rho))
 error('THETA and RHO must be the same size.');
end
if (max(theta) - min(theta)) < 6.3
 warning('THETA must be in degrees');
end
if min(theta) >= 0
 warning('Plot is -90 to +90 or -180 to +180 degrees');
end
if max(abs(theta)) > 180
 error('Plot is -90 to +90 or -180 to +180 degrees');
end

% Get range of theta and set flag for full or half plot.
if (max(theta)-min(theta)) > 180 | max(theta) > 90
 fullplot = 1;
else
 fullplot = 0;
end

% Translate theta degrees to radians
theta = theta*pi/180;

cax = newplot;
next = lower(get(cax,'NextPlot'));
hold_state = ishold;

if hold_state & exist('params')
 warning('Plot is held. New plot parameters ignored')
end

% get x-axis text color so grid is in same color
tc = get(cax,'xcolor');
ls = get(cax,'gridlinestyle');

% Hold on to current Text defaults, reset them to the
% Axes' font attributes so tick marks use them.
fAngle = get(cax, 'DefaultTextFontAngle');
fName = get(cax, 'DefaultTextFontName');

```

fSize = get(cax, 'DefaultTextFontSize');
fWeight = get(cax, 'DefaultTextFontWeight');
fUnits = get(cax, 'DefaultTextUnits');
set(cax, 'DefaultTextFontAngle', get(cax, 'FontAngle'), ...
    'DefaultTextFontName', get(cax, 'FontName'), ...
    'DefaultTextFontSize', get(cax, 'FontSize'), ...
    'DefaultTextFontWeight', get(cax, 'FontWeight'), ...
    'DefaultTextUnits','data')

% only do grids if hold is off
if ~hold_state
    % make a radial grid
    hold on;
    if ~exist('params')
        rticks = 10; % default ticks
        lims = findscale(rho,rticks); % get click, rmax, rmin
        click = lims(1); rmax = lims(2); rmin = lims(3);
        rngdisp = rmax - rmin;
    else
        rmax = params(1); rmin = params(2); rticks = params(3);
        rngdisp = rmax - rmin;
        click = rngdisp/rticks;
    end

    set(cax,'userdata',[rngdisp rmax rmin]); % save variables for added plots

    % define a circle
    th = 0:pi/50:2*pi;
    xunit = cos(th);
    yunit = sin(th);
    % now really force points on x/y axes to lie on them exactly
    inds = 1:(length(th)-1)/4:length(th);
    xunit(inds(2:2:4)) = zeros(2,1);
    yunit(inds(1:2:5)) = zeros(3,1);
    % plot background if necessary
    if ~isstr(get(cax,'color')),
        patch('xdata',xunit*rngdisp,'ydata',yunit*rngdisp, ...
            'edgecolor',tc,'facecolor',get(gca,'color'),...
            'handlevisibility','off');
    end

    % draw radial circles
    % angles for text labels
    c88 = cos(88*pi/180);
    s88 = sin(88*pi/180);
    c92 = -cos(92*pi/180);

```

```

s92 = -sin(92*pi/180);

for i=click:click:rngdisp
    tickt = i+rmin;
    if abs(tickt) < .001
        tickt = 0;
    end
    ticktext = ['' num2str(tickt)];
    hhh = plot(xunit*i,yunit*i,ls,'color',tc,'linewidth',1,...
        'handlevisibility','off');
    if i < rngdisp
        text(i*c88,i*s88, ...
            ticktext,'verticalalignment','bottom',...
            'handlevisibility','off','fontsize',8)
    else
        text(i*c88,i*s88, ...
            [ticktext,' dB'],'verticalalignment','bottom',...
            'handlevisibility','off','fontsize',8)
    end
    if fullplot
        if i < rngdisp
            text(i*c92,i*s92, ...
                ticktext,'verticalalignment','bottom',...
                'handlevisibility','off','fontsize',8)
        else
            text(i*c92,i*s92, ...
                [ticktext,' dB'],'verticalalignment','bottom',...
                'handlevisibility','off','fontsize',8)
        end
    end
end
end
set(hhh,'linestyle','-') % Make outer circle solid

% plot spokes at 10 degree intervals
th = (0:18)*2*pi/36;

cst = cos(th); snt = sin(th);
cs = [-cst; cst];
sn = [-snt; snt];
plot(rngdisp*cs,rngdisp*sn,ls,'color',tc,'linewidth',1,...
    'handlevisibility','off')

% label spokes in 30 degree intervals
rt = 1.1*rngdisp;
for i = 1:3:19
    text(rt*cst(i),rt*snt(i),[int2str(90-(i-1)*10),'^o'],...)

```

```

        'horizontalalignment','center',...
        'handlevisibility','off');
    end
    if fullplot
        for i = 3:3:6
            text(-rt*cst(i+1),-rt*snt(i+1),[int2str(-90-i*10),'^o'],...
                'horizontalalignment','center',...
                'handlevisibility','off');
        end
        for i = 9:3:15
            text(-rt*cst(i+1),-rt*snt(i+1),[int2str(270-i*10),'^o'],...
                'horizontalalignment','center',...
                'handlevisibility','off');
        end
    end
    end

    % set view to 2-D
    view(2);
    % set axis limits
    if fullplot
        axis(rngdisp*[-1 1 -1.15 1.15]);
    else
        axis(rngdisp*[-1 1 0 1.15]);
    end
end

if hold_state
    v = get(cax,'userdata');
    rngdisp = v(1);
    rmax = v(2);
    rmin = v(3);
end

% Reset defaults.
set(cax, 'DefaultTextFontAngle', fAngle , ...
    'DefaultTextFontName', fName , ...
    'DefaultTextFontSize', fSize, ...
    'DefaultTextFontWeight', fWeight, ...
    'DefaultTextUnits',fUnits );

% transform data to Cartesian coordinates.
% Rotate by pi/2 to get 0 degrees at top. Use negative
% theta to have negative degrees on left.
xx = (rho+rngdisp-rmax).*cos(-theta+pi/2);
yy = (rho+rngdisp-rmax).*sin(-theta+pi/2);

```



```

% plot data on top of grid
if strcmp(line_style,'auto')
    q = plot(xx,yy);
else
    q = plot(xx,yy,line_style);
end
if nargout > 0
    hpol = q;
end
set(gca,'dataaspectratio',[1 1 1]), axis off; set(cax,'NextPlot',next);
set(get(gca,'xlabel'),'visible','on')
set(get(gca,'ylabel'),'visible','on')

% Subfunction finds optimal scaling using "scope knob"
% factors of 1, 2, 5. Range is limited to practical
% decibel values.
function lims = findscale(rho, rticks)
clicks = [.001 .002 .005 .01 .02 .05 .1 ...
          .2 .5 1 2 5 10 20 50 100 200 500 1000];
lenclicks = length(clicks);
rhi = max(rho);
rlo = min(rho);
rrng = rhi - rlo;
rawclick = rrng/rticks;
n = 1;
while clicks(n) < rawclick
    n = n + 1;
    if n > lenclicks
        close;
        error('Cannot autoscale; unrealistic decibel range.');
```

end

```

end
click = clicks(n);

m = floor(rhi/click);
rmax = click * m;
if rhi - rmax ~= 0
    rmax = rmax + click;
end
rmin = rmax - click * rticks;

% Check that minimum rho value is at least one tick
% above rmin. If not, increase click value and
% rescale.
if rlo < rmin + click
    if n < lenclicks
```

```

        click = clicks(n+1);
    else
        error('Cannot autoscale; unrealistic decibel range.');
```

```

    end

    m = floor(rhi/click);
    rmax = click * m;
    if rhi - rmax ~= 0
        rmax = rmax + click;
    end
    rmin = rmax - click * rticks;
end
lims = [click rmax rmin];

```

D.2 *Python* Filter Generator

Python kode van Pastell (2010) gebaseer op die filterteorie van Smith (1997:288) om 'n model van 'n hoogdeurlaatfilter te skep.

```

"""
Python code for basis FIR filter design
@author: Matti Pastell <matti.pastell@helsinki.fi>
http://mpastell.com
"""

from pylab import *
import scipy.signal as signal

#Plot frequency and phase response
def mfreqz(b,a=1):
    w,h = signal.freqz(b,a)
    h_dB = 20 * log10 (abs(h))
    subplot(211)
    plot(w/max(w),h_dB)
    ylim(-150, 5)
    ylabel('Magnitude (dB)')
    xlabel(r'Genormaliseerde Frekwensie (x$\pi$rad/monster)')
    title(r'Frekwensie-oordrag')
    subplot(212)
    h_Phase = unwrap(arctan2(imag(h),real(h)))
    plot(w/max(w),h_Phase)
    ylabel('Fase (radiale)')
    xlabel(r'Genormaliseerde Frekwensie (x$\pi$rad/monster)')

```

```
title(r'Fase weergawe')
subplots_adjust(hspace=0.5)
```

```
#Highpass FIR filter
figure(2)
n = 101
a = signal.firwin(n, cutoff = 0.3, window = "hanning")
a = -a
a[n/2] = a[n/2] + 1
mfreqz(a)
show()
```

Lys van Verwysings

- 1031-0107-6. 1997. *GENELEC 1031A Bi-amplified Monitoring System*. Genelec Oy, Olvitie 5 FIN-74100 IISALMI, FINLAND. 153, 164
- 27C1915 (Rev. 7). 2009. *SHURE Model A15AS User Guide*. Rev 5. SHURE Incorporated, W. Touhy Laan 5800, Niles, IL 60714-4608, V.S.A. 62
- 27C1917 (Rev. 5). 2009. *SHURE Model A15HP User Guide*. Rev 5. SHURE Incorporated, W. Touhy Laan 5800, Niles, IL 60714-4608, V.S.A. 63
- 27D2903 (Rev. 2). 2009. *SHURE SM57 Unidirectional Dynamic Microphone*. SHURE Incorporated, W. Touhy Laan 5800, Niles, IL 60714-4608, V.S.A. 132, 154, 155, 164
- 515895/A01. 2007. *SENNHEISER MKH 8040 Instructions for use*. Sennheiser electronic GmbH & Co. KG, 30900 Wedemark, Duitsland. 144
- Abel, J.S., Berners, D.P. & Greenblatt, A. 2009. An Emulation of the EMT140 Plate Reverberator Using a Hybrid Reverberator Structure. In *AES 127th Convention, preprint 7928*. New York. 24
- Adelman-Larsen, N.W. & Thompson, E.R. 2007. Acoustics in Rock and Pop Music Halls. In *AES 123rd Convention, preprint 7246*. New York. 95
- Adler, M. 1985. Stardom and Talent. *The American Economic Review*, 71(1):208–212. 10
- Adorno, T.W. 1945. A Social Critique of Radio Music. *The Kenyon Review*, 7(2):208–217. 10
- AES14-1992 -r2004. 1992. *Aes Standard for Professional Audio Equipment - Application of Connectors, Part 1, Xlr-Type Polarity and Gender*. Audio Engineering Society, Inc., Oos 42^{ste} Straat 60, New York, New York 10165, V.S.A. 69
- AES42-2006. 2006. *AES Standard for Acoustics - Digital Interface for Microphones*. Audio Engineering Society, Inc., Oos 42^{ste} Straat 60, New York, New York 10165, V.S.A. 45

- AES48-2005. 2005. *AES standard on Interconnections - Grounding and EMC Practices - Shields of Connectors in Audio Equipment Containing Active Circuitry*. Audio Engineering Society, Inc., Oos 42^{ste} Straat 60, New York, New York 10165, V.S.A. 70
- Ahern, S. 2006. *Making Radio: A Practical Guide to Working in Radio. Second Edition*. New South Wales: Allen & Unwin. 62
- Ahnert, W. & Steffen, F. 1999. *Sound Reinforcement Engineering: Fundamentals and Practice*. London: E & FN Spon. 57
- Alles, H.G. 1980. Music Synthesis using Real Time Digital Techniques. *Proceedings of the IEEE*, 68(4):436–449. 32
- Alm, J.F. & Walker, J.S. 2002. Time-Frequency Analysis of Musical Instruments. *SIAM Review*, 44(3):457–476. 149
- Amos, S.W. & James, M.R. 2000. *Principles of Transistor Circuits: Introduction to the Design of Amplifiers*. Oxford: Newnes. 65
- Amyes, T. 1998. *Audio Post-production in Video and Film. Second Edition*. Oxford: Focal Press. 51
- Anand, N. 2006. Charting the Music Business: Billboard Magazine and the Development of the Commercial Music Field. In J. Lampel, J. Shamsie & T.K. Lant (reds.), *The business of culture: strategic perspectives on entertainment and media*, bladsye 139–154. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum. 11
- Anazawa, T., Takahashi, Y. & Clegg, A.H. 1997. Digital Time-Coherent Recording Technique. In *AES 83rd Convention, preprint 2493*. New York. 116
- Andersen, C.W. 1959a. Electronic Piano Amplifier. Amerikaanse Patent # 2,881,650. 33
- Andersen, C.W. 1959b. Piano Action. Amerikaanse Patent # 2,909,093. 33
- Andersen, C.W. 1960. Tone Generating Assembly for Electronic Piano. Amerikaanse Patent # 2,949,052. 33
- Andersen, C.W. 1961. Pedal Structure for Electronic Piano. Amerikaanse Patent # 3,002,412. 33
- Andersen, C.W. 1985. Dual Loudness Meter and Method. Amerikaanse Patent # 4,528,501. 158

- Andrews, D. 1980. Pressure Zone Microphones: A Practical Application of the Pressure Zone Recording Process. In *AES 66th Convention, preprint 1647 (J-4)*. Los Angeles. 97
- Andrews, D.M. & Wahrenbrock, K.A. 1980. Pressure Zone Microphone Techniques for Broadcast and Television. In *AES 67th Convention, preprint 1722(I-6)*. New York. 97
- ANSI/IEEE Std. 100-1977. 1978. *ANSI/IEEE Std. 100-1977, IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms*. Wiley Interscience, New York. 67
- Associated Press. 1964. Die BEATLES op die *Ed Sullivan Show* op 9 Februarie 1964. Foto. 122
- Aucouturier, J. & Pachet, F. 2003. Representing Musical Genre: A State of the Art. *Journal of New Music Research*, 32(1):83–93. 79, 161
- Bacon, T. 1981. *Rock Hardware. The Instruments, Equipment and Technology of Rock*. New York: Harmony Books. 7
- Ballou, G. 2002. Tubes, Discrete Solid State Devices, and Integrated Circuits. In G. Ballou (red.), *Handbook for Sound Engineers. Third Edition*, bladsye 267–302. Oxford: Focal Press. 64
- Ballou, G. 2009a. *A Sound Engineer's Guide to Audio Test and Measurement*. Oxford: Focal Press. 17, 96
- Ballou, G. 2009b. *Electroacoustic Devices: Microphones and Loudspeakers*. Oxford: Focal Press. 73
- Bamford, J.S. & Vanderkooy, J. 1995. Ambisonic Sound for Us. In *AES 99th Convention, preprint 4138 (0-4)*. New York. 116
- Barbedo, J.G.A. & Lopes, A. 2008. Automatic Musical Genre Classification Using a Flexible Approach. *Journal of the Audio Engineering Society*, 56(7/8):560–568. 6, 7, 8
- Barron, M. 1971. The Subjective Effects of First Reflections in Concert Halls - The Need for Lateral Reflections. *Journal of Sound and Vibration*, 15:475–494. 29
- Barron, M. 2000. Measured Early Lateral Energy Fractions in Concert Halls and Opera Houses. *Journal of Sound and Vibration*, 232(1):79–100. 29
- Barron, M. & Marshall, A.H. 1981. Spatial Impression Due to Early Lateral Reflections in Concert Halls: The Derivation of a Physical Measure. *Journal of Sound and Vibration*, 77(2):211–232. 28

- Bartlett, B. 1970. A Scientific Explanation of Phasing (Flanging). *Journal of the Audio Engineering Society*, 18(6):674–675. 16, 100
- Bartlett, B. 1981. Tonal Effects of Close Microphone Placement. *Journal of the Audio Engineering Society*, 29(10):726–738. 30, 89, 99
- Bartlett, B. 1983. Tonal Effects of Classical Music Microphone Placement. In *AES 74th Convention, preprint 1994*. New York. 91
- Bartlett, B. 1986. Microphones: Small is Beautiful. In *AES 81st Convention, preprint 2393*. Los Angeles. 73, 88
- Bartlett, B. 1987. Choosing the Right Microphone by Understanding Design Tradeoffs. *Journal of the Audio Engineering Society*, 35. 39, 42, 43, 48, 49, 58, 62
- Bartlett, B. 1997. Loudness Compensation by Microphone Frequency Response and Microphone Placement. In *AES 103rd Convention, preprint 4517*. New York. 91, 93, 166
- Bartlett, B. & Bartlett, J. 2002. *Practical Recording Techniques*. Woburn, MA: Focal Press. 132, 133
- Bartlett, B. & Bartlett, J. 2007. *Recording music on location: capturing the live performance*. Burlington, MA: Focal Press. 110
- Bartlett, B. & Billingsley, M. 1990. An Improved Stereo Microphone Array Using Boundary Technology: Theoretical Aspects. *Journal of the Audio Engineering Society*, 38(7/8):543–552. 26, 27, 28, 106, 107, 108, 111
- Bastyr, K.J. & Capone, D.E. 2003. On the Acoustic Radiation from a Loudspeaker's Cabinet. *Journal of the Audio Engineering Society*, 51(4):234–243. 34
- Bauch, F.W.O. 1953. New High-Grade Condenser Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 1(3):232–240. 42
- Bauer, B. 1963. Some Techniques Toward Better Stereophonic Perspective. *Audio, IEEE Transactions on*, 11(3):88–92. 112
- Bauer, B.B. 1941. Uniphase Unidirectional Microphone. *Journal of the Acoustical Society of America*, 13(1):41–45. 48
- Bauer, B.B. 1961. Phasor Analysis of Some Stereophonic Phenomena. *Journal of the Acoustical Society of America*, 33(11):1536–1539. 109
- Bauer, B.B. 1970. Octave-Band Spectral Distribution of Recorded Music. *Journal of the Audio Engineering Society*, 18(2):165–172. 79

- Bauer, B.B. 1987. A Century of Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 35(4):246–258. 40, 41, 47, 48
- Baumann, V.H. 1960. Teen-Age Music Preferences. *Journal of Research in Music Education*, 8(2):75–84. 11
- Baume, C. & Churnside, A. 2010. Upping the Auntie: A Broadcaster's Take on Ambisonics. In *AES 128th Convention, preprint 8039*. London. 116
- Baumgarte, F., Ferekidis, C. & Fuchs, H. 1995. A Nonlinear Psychoacoustic Model Applied to the ISO MPEG Layer 3 Coder. In *AES 99th Convention, preprint 4087 (J-2)*. New York. 25
- Bazil, E. 2008. *Sound Mixing Tips and Tricks*. Norfolk, Engeland: PC Publishing. 79, 121
- Beaubien, W. & Moore, H. 1960. Perception of Stereophonic Effect as a Function of Frequency. *Audio, IRE Transactions on*, 8(5):144–153. 106
- Bech, S. 1994. Perception of Timbre of Reproduced Sound in Small Rooms: Influence of Room and Loudspeaker Position. *Journal of the Audio Engineering Society*, 42(12):999–1007. 12
- Bech, S. 1998. The Influence of Stereophonic Width on the Perceived Quality of an Audiovisual Presentation Using a Multichannel Sound System. *Journal of the Audio Engineering Society*, 46(4):314–322. 106
- Beckett, B.S. 1981. *Illustrated Human and Social Biology*. Oxford: Oxford University Press. 25
- Bell, A.G. 1876. Improvement in Telegraphy. Amerikaanse Patent # 174,465. 40
- Bell, A.G. 1881. Upon a Modification of Wheatstone's Microphone, and Its Adaptability to Radiophonic Researches. *Science*, 2(53):314–315. 40
- Benade, A.H. 1985. From-Instrument to Ear in a Room: Direct or via Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(4):218–233. 85
- Benade, A.H. 1990. *Fundamentals of Musical Acoustics. Second, Revised Edition*. Mineola, NY: Dover Publications. 32
- Bensa, J., Bilbao, S., Kronland-Martinet, R. & Smith III, J.O. 2003. The Simulation of Piano String Vibration: From Physical Models to Finite Difference Schemes and Digital Waveguides. *Journal of the Acoustical Society of America*, 114(2):1095–1107. 32

- Benson, D.J. 2006. *Music: A Mathematical Offering*. Cambridge: Cambridge University Press. 31
- Beranek, L.L. 2006. Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption. *Journal of the Acoustical Society of America*, 120(3):1399–1410. 22
- Berenzweig, A., Ellis, D.P. & Lawrence, S. 2002. Using Voice Segments to Improve Artist Classification of Music. In *AES 22nd International Conference*. Espoo, Finland. 6
- Bergamini, J. & Fuhrman, K. 2004. *Turn It Up & Lay It Down. Volume 1*. Miami, FL: Warner Bros. Publications. 133
- Berkovitz, R. & Edvardsen, B. 1977. An Improved Stereo Microphone Array for Popular Music Recording. In *AES 58th Convention, preprint 1294 (J-4)*. New York. 17
- Berlant, B. 1985. Loudspeaker Directionality and the Perception of Reality. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(5):342–350. 3
- Berliner, E. 1877. Improvement in Telephones. Amerikaanse Patent # 199,141. 40
- Bharitkar, S. & Kyriakakis, C. 2006. *Immersive Audio Signal Processing*. New York: Springer-Verlag. 116
- Billingsley, M. 1989. An Improved Stereo Microphone Array for Popular Music Recording. In *AES 87th Convention, preprint 2870*. New York. 91, 120, 123
- Birchfield, S. & Gangishetty, R. 2005. Acoustic Localization by Interaural Level Difference. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, volume 4, bladsye 1109–1112. 112
- Bitzer, J., LeBoeuf, J. & Simmer, U. 2008. Evaluating Perception of Salient Frequencies: Do Mixing Engineers Hear the Same Thing? In *AES 124th Convention, preprint 7462*. Amsterdam. 80
- Black, J.W., Molinaro, A. & Smolin, J. 1983. *The Art of Rock and Roll*. Eaglewood CLiffs, N.J.: Prentice-Hall. 7
- Black, J.W., Molinaro, A. & Smolin, J. 2001. *The Fender Bass: An Illustrated History*. Milwaukee, WI: Hal Lenonard. 33
- Black, R. 2006. Audio Cable Distortion is Not a Myth! In *AES 120th Convention, preprint 6858*. Parys. 66

- Blacking, J. 1981. Making Artistic Popular Music: The Goal of True Folk. *Popular Music*, 1:9–14. 140
- Blake, F. 1881. Speaking Telephone. Amerikaanse Patent # 250,129. 40
- Blauert, J. 1971. Localization and the Law of the First Wavefront in the Median Plane. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 50(2B):466–470. 27
- Blauert, J. & Lindemann, W. 1986. Auditory Spaciousness: Some Further Psychoacoustic Analyses. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80(2):533–542. 28
- Bleazey, J.C. 1961. Electronic Sound Absorber. In *AES 13th Annual Meeting, preprint 200*. New York. 20
- Blessner, B. 2001. An Interdisciplinary Integration of Reverberation. In *AES 111th Convention, preprint 5468*. New York. 21, 23
- Blessner, B.A. & Bader, K. 1980. Electric Reverberation Apparatus. Amerikaanse Patent # 4,181,820. 24
- Blumlein, A.D. 1937. Sound Transmission, Sound Recording, and Sound Reproduction System. Amerikaanse Patent # 2,093,540. 104
- Blumlein, A.D. 1958. A.D. Blumlein, British Patent # 394 325 (14 June 1933). *Journal of the Audio Engineering Society*, 6(2):91–98. 104, 108
- Bodoh, A.G. 1977. The Jukebox, the Radio and the Record. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(10/11):836–98. 7
- Boone, M.M., Verheijen, E.N.G. & Van Tol, P.F. 1995. Spatial Sound-Field Reproduction by Wave-Field Synthesis. *Journal of the Audio Engineering Society*, 43(12):1003–1012. 116
- Boré, G. 1957. Principles and Problems of Stereophonic Transmission. In *AES 9th Annual Meeting, preprint 30*. New York. 27, 109
- Boré, G. & Peus, S. 1999. *Microphones. Methods of Operation and Type Examples*. Berlin: Georg Neumann GmbH. 46
- Boring, E.G. 1926. Auditory Theory with Special Reference to Intensity, Volume, and Localization. *The American Journal of Psychology*, 37(2):157–188. 15
- Bork, I. 1992. Modal Analysis of Sound Fields of Musical Instruments. In *AES 92nd Convention, preprint 3243*. Wenen. 31

- Borß, C. 2009. A VST Reverberation Effect Plugin Based on Synthetic Room Impulse Responses. In *Proceedings of the 12th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx-09)*, bladsye 1–7. Como, Italië. 24
- Bortoni, R. & Kirkwood, W. 2010. The 48-Volt Phantom Menace Returns. *Journal of the Audio Engineering Society*, 58(3):197–213. 69
- Borwick, J. 1973. The tonmeister concept. In *AES 46th Convention, preprint 938 (N-1)*. Los Angeles. 1
- Borwick, J. 1977. Studios and Studio Equipment. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(10/11):689–695. 21, 91, 116
- Borwick, J. 1994. Microphones. In J. Borwick (red.), *Sound Recording Practice. Fourth Edition*, bladsye 127–142. Oxford: Oxford University Press. 39, 50, 56
- Boudreau, J., Frank, R., Sigismondi, G., Vear, T. & Waller, R. 2007. *Microphone Techniques for Recording*. Niles, IL, V.S.A.: SHURE Incorporated. 86
- Boyle, J.D., Hosterman, G.L. & Ramsey, D.S. 1981. Factors Influencing Pop Music Preferences of Young People. *Journal of Research in Music Education*, 29(1):47–55. 12
- Boylestad, R.L. 2003. *Introductory Circuit Analysis. Tenth Edition*. Upper Saddle River, NJ, V.S.A.: Pearson Education. 42, 47, 63
- Braasch, J. 2005a. A Binaural Model to Predict Position and Extension of Spatial Images Created with Standard Sound Recording Techniques. In *AES 119th Convention, preprint 6610*. Schloss Elmau, Duitsland. 108, 111
- Braasch, J. 2005b. A Loudspeaker-based 3D Sound Projection using Virtual Microphone Control (ViMiC). In *AES 118th Convention, preprint 6430*. Barcelona, Spanje. 50, 87, 108
- Bracewell, R.N. 1989. The Fourier Transform. *Scientific American*, 260(6):62–69. 15
- Brackett, D. 2000. *Interpreting Popular Music. 1st Calif. pbk*. Berkeley: University of California Press. 4, 6
- Bradley, J.S. & Soulodre, G.A. 1995. The Influence of Late Arriving Energy on Spatial Impression. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(4):2263–2271. 141

- Brewer, R.C. 2003. The appearance of the electric bass guitar: A rockabilly perspective. *Popular Music & Society*, 26(3):351–366. 33
- Brice, R. 2001. *Music Engineering. Second Edition*. Oxford: Newnes. 51
- Brice, R. 2003. *Newnes guide to digital TV. Second Edition*. Oxford: Newnes. 146
- Briggs, A. 1995. *The History of Broadcasting in the United Kingdom*. Oxford: Oxford University Press. 95
- Brinkman, W.F., Haggan, D.E. & Troutman, W.W. 1997. A History of the Invention of the Transistor and Where It Will Lead Us. *IEEE Journal Of Solid-State Circuits*, 32(12):1858–1865. 65
- Brittin, R.V. & Sheldon, D.A. 1995. Comparing Continuous versus Static Measurements in Music Listeners' Preferences. *Journal of Research in Music Education*, 43(1):36–46. 11
- Brixen, E.B. 1992. Multi Compatible Stereo Techniques for Television. In *AES 92nd Convention, preprint 3259*. Wenen. 109
- Brixen, E.B. 1994. Phase Relation in Stereo Signals from Dual Microphone Set-Ups. In *AES 96th Convention, preprint 3825*. Amsterdam. 108, 112, 117, 124
- Brixen, E.B. 2000. Distance Perception based on the Spectra of the Spoken Voice. In *AES 96th Convention, preprint 5076*. Parys. 91
- Brixen, E.B. 2005. Microphones, High Wind and Rain. In *AES 119th Convention, preprint 6624*. New York. 75
- Brown, J. 2003a. A Novel Method of Handbook for Sound Engineers. Third Edition for Susceptibility of Audio Equipment to Interference from Medium and High Frequency Radio Transmitters. In *AES 115th Convention, preprint 5898*. New York. 70
- Brown, J. 2003b. Testing for Radio-Frequency Common Impedance Coupling (the "Pin 1 Problem") in Microphones and Other Audio Equipment. In *AES 115th Convention, preprint 5897*. New York. 70
- Brown, J. & Josephson, D. 2003. Radio Frequency Susceptibility of Capacitor Microphones. In *AES 114th Convention, preprint 5720*. Amsterdam. 70
- Brown, J. & Whitlock, B. 2003. Common-Mode to Differential-Mode Conversion in Shielded Twisted-Pair Cables (Shield-Current-Induced Noise). In *AES 114th Convention, preprint 5747*. Amsterdam. 70

- Brown, J. & Whitlock, B. 2005. A Better Approach to Passive Microphone Splitting. In *AES 118th Convention, preprint 6338*. Barcelona. 66, 72
- Brunner, S., Maempel, H. & Weinzierl, S. 2007. On the audibility of comb-filter distortions. In *AES 122nd Convention, preprint 7407*. Wenen. 96, 116
- Bücker, H. 1990. Experiments on Sound Emission from Wooden Surfaces. In *AES 88th Convention, preprint 2906*. Montreaux. 32
- Bücklein, R. 1981. The Audibility of Frequency Response Irregularities. *Journal of the Audio Engineering Society*, 29(3):126–131. 57
- Bullock, J.D. & Woodard, A.P. 1984. Performance Characteristics Of Unidirectional Transducers Near Reflective Surfaces. In *AES 76th Convention, preprint 2122*. New York. 97
- Burden, R.W. & Dorrough, M. 1987. A Different Approach to the Old Problem of Audio Level Monitoring. In *AES 83rd Convention*. New York. 158
- Burkowitz, P.K. 1969. Where Is Recording Going? In *AES 37th Convention, preprint 687*. New York. 85
- Burkowitz, P.K. 1977. Recording, Art of the Century? *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(10/11):873–879. 9, 77, 86, 112, 142
- Burns, R. 1999. Blumlein and the birth of stereo. *IEEE Review*, 45(6):269–273. 108
- Burrus, C.S., Frigo, M., Johnson, S.G., Pueschel, M. & Selesnick, I. 2008. *Fast Fourier Transforms*. Texas: Connexions. 15
- Burwen, R.S. 1977. A Low-Noise High-Output Capacitor Microphone System. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(5):278–283. 61
- Butler, J.L. 1989. Microphone Selection. In *AES 86th Convention, preprint 2744*. Hamburg. 35, 57, 72, 87, 95
- Cabot, R.C., Hofer, B. & Metzler, R. 2005. Nonlinear Audio Distortion. In J.C. Whitaker (red.), *Standard Handbook of Broadcast Engineering*, bladsye 10–33–10–47. New York: McGraw-Hill. 16, 59
- Caleon, I.S. & Subramaniam, R. 2007. From Pythagoras to Sauveur: tracing the history of ideas about the nature of sound. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 42(2):173–179. 14

- Cameron, S. & Collins, A. 1997. Transaction costs and partnerships: The case of rock bands. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 32(2):171–183. 5
- Campbell, M. & Brody, J. 2004. *Pro Tools for Music Production: Recording, Editing and Mixing. Second Edition*. Oxford: Focal Press. 121
- Campbell, M. & Brody, J. 2008. *Rock and Roll: An Introduction. Second Edition*. Belmont, CA: Thomson Schirmer. 36
- Cann, R.G. & Hoover, A. 2002. Criteria for Acceptability of Acoustical Performance. In J.C. Whitaker & K.B. Benson (reds.), *Standard Handbook of Audio and Radio Engineering. Second Edition*, bladsye 3–23–3–34. New York: McGraw-Hill. 95
- Case, A.U. 2007. *Sound FX: unlocking the creative potential of recording studio effects*. Burlington, MA: Focal Press. 15
- Case, A.U. 2010. Recording Electric Guitar - The Science and the Myth. *Journal of the Audio Engineering Society*, 58(1/2):80–83. 163
- Ceoen, C. 1972. Comparative Stereophonic Listening Tests. *Journal of the Audio Engineering Society*, 20(1):19–27. 111
- Chafe, C., Gurevich, M., Leslie, G. & Tyan, S. 2004. Effect of Time Delay on Ensemble Accuracy. In *Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, March 31st to April 3rd 2004 (ISMA2004)*. Nara, Japan. 116
- Chaigne, A. 1999. Recent Advances in Vibration and Radiation of Musical Instruments. *Flow, Turbulence and Combustion*, 61:31–41. 31
- Chaigne, A. & Askenfelt, A. 1994. Numerical Simulations of Piano Strings. II. Comparisons with Measurements and Systematic Exploration of Some Hammer-String Parameters. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(3):1631–1640. 32
- Chandler, A.D. 2005. *Shaping the Industrial Century: the Remarkable Story of the Evolution of the Modern Chemical and Pharmaceutical Industries*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 47
- Chappell, J. 1999. *The Recording Guitarist: A Guide for Home and Studio*. Milwaukee, WI: Hal Leonard. 100
- Chen, J.X. 2003. *Guide to Graphics Software Tools*. New York: Springer-Verlag. 147

- Cheng, C.I. & Wakefield, G.H. 1999. Introduction to Head Related Transfer Functions (HRTFs): Representations of HRTFs in Time, Frequency, and Space. In *AES 107th Convention, preprint 5026*. New York. 26
- Choisel, S. & F., W. 2007. Evaluation of Multichannel Reproduced Sound: Scaling Auditory Attributes Underlying Listener Preference. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(1):388–400. 12
- Chopra, A. 2009. *Google SketchUp 7 for Dummies*. Hoboken, NJ: Wiley Publishing. 123
- Chowning, J.M. 1973. The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation. *Journal of the Audio Engineering Society*, 21(7):526–534. 32
- Clark, H., Dutton, G. & Vanderlyn, P. 1957. The “Stereosonic” recording and reproducing system. *Audio, IRE Transactions on*, 5(4):96–111. 25, 109, 124
- Clark, L.E. 1938. Microphones. In J.G. Frayne, B. Kreuzer, B.F. Miller, W. Thayer & R. Townsend (reds.), *Motion Picture Sound Engineering. Sixth Printing*, bladsye 127–142. New York: D.Van Nostrand Company. 41, 42, 47, 49
- Clark, M. 1993. Audio Technology in the United States to 1943 and Its Relationship to Magnetic Recording. In *AES 94th Convention, preprint 3481*. Berlyn. 40, 41, 48, 64
- Clarke, D. 1995. *The Rise and Fall of Popular Music*. London: Penguin Books. 6
- Clarke, P. 1983. “A Magic Science”: Rock Music as a Recording Art. *Popular Music*, 3(1):195–213. 6, 10
- Clearmountain, B. 2006. Mixing Tips from the Pros. *Sound on Sound Magazine*, 21(12):104–111. 80
- Cochran, W., Cooley, J., Favin, D., Helms, H., Kaenel, R., Lang, W., Maling, G., J., Nelson, D., Rader, C. & Welch, P. 1967. What is the Fast Fourier Transform? *Audio and Electroacoustics, IEEE Transactions on*, 15(2):45–55. 15
- Cohan, J. 1998. *The Drummer’s Almanac*. Milwaukee, WI: Hal Leonard. 126, 128, 132, 135
- Cohan, J. 1999. *Zildjian: a History of the Legendary Cymbal Makers*. Milwaukee, WI: Hal Leonard Corporation. 36

- Coleman, P.D. 1968. Dual Role of Frequency Spectrum in Determination of Auditory Distance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 44(2):631–632. 27
- Colt, C.F. 1973. Early Pianos: Their History and Character. *Early Music*, 1(1):27–33. 32
- Colwell, R.C. & Fullmer, L. 1931. The Microphone Amplifier. *Science*, 74(1912):204. 41
- Connor, S. 2001. The Decomposing Voice of Postmodern Music. *New Literary History*, 32(3):467–483. 5
- Cook, P.R. 1997. Physically Informed Sonic Modeling (PhISM): Synthesis of Percussive Sounds. *Computer Music Journal*, 21(3):38–49. 32
- Cook, R.K. 1995. Introduction: A Short History of the Condensor Microphone. In G.S.K. Wong & T.F.W. Embleton (reds.), *AIP Handbook of Condensor Microphones*, bladsye 3–7. New York: AIP Press. 41
- Cooley, J.W. & Tukey, J.W. 1965. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation*, 19(90):297–301. 15
- Cooper, D.H. 1987. Problems with Shadowless Stereo Theory: Asymptotic Spectral Status. *Journal of the Audio Engineering Society*, 35(9):629–642. 16
- Cooper, D.H. & Bauck, J.L. 1980. On Acoustical Specification Of Natural Stereo Imaging. In *AES 65th Convention, preprint 1616*. London. 26, 105
- Cooper, M. & Foote, J. 2003. Summarizing Popular Music Via Structural Similarity Analysis. In *2003 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*. New Paltz, NY. 6
- Corcoran, J.J. 2000. Analog-to-Digital Converters. In C.F. Coombs (red.), *Electronic Instrument Handbook. Third Edition*, bladsye 6.1–6.37. New York: McGraw-Hill. 45
- Cott, J. 2007. Leonard Bernstein - November 29, 1990. In J.S. Wenner & J. Levy (reds.), *The Rolling Stone Interviews*, bladsye 271–280. New York: Back Bay Books. 3
- Cowan, J.P. 1994. *Handbook of Environmental Acoustics*. New York: John Wiley & Sons. 22

- Crain, W.M. & Tollison, R.D. 1997. Economics and the Architecture of Popular Music. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 32(2):185–205. 10
- Crandall, I.B. 1918. Air-Damped Vibrating System, Theoretical Calibration of the Condensor Transmitter. *Physical Review*, 11(6):449–460. 42
- Cremer, L. 1977. Law of the First Wave Front. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(6):420–422. 27
- Crich, T. 2005. *Recording Tips for Engineers: For Cleaner, Brighter Tracks*. Oxford: Focal Press. 133
- Crowhurst, N.H. 1957. Basic Requirements for a Stereophonic System. *Journal of the Audio Engineering Society*, 5(3):129–134. 105
- Crowhurst, N.H. 1960. Stereo as an Integral System. *Journal of the Audio Engineering Society*, 8(2):95–99. 105
- Curtis, J.M. 1984. Toward a Sociotechnological Interpretation of Popular Music in the Electronic Age. *Technology and Culture*, 25(1):91–102. 10, 36
- Cusic, D. 2005. In Defense of Cover Songs. *Popular Music & Society*, 28(2):171–177. 11
- Cuttris, C. & Redding, J. 1881. Telephone. *Amerikaanse* 242,816. 47
- Daniel, F. 1993. Nearfield Monitors-Some Things They are and Some Things They're not. In *AES 95th Convention, preprint 3770*. New York. 89
- Daniel, J., Rault, J. & Polack, J. 1998. Ambisonics Encoding of Other Audio Formats for Multiple Listening Conditions. In *AES 105th Convention, preprint 4800*. San Francisco. 115
- Davis, D. & Patronis, E. 2006. *Sound System Engineering. Third Edition*. Burlington, MA: Focal Press. 71, 87
- Davis, G. & Jones, R. 1989. *The Sound Reinforcement Handbook. Second Edition*. Tokyo: Yamaha. 38, 41, 43, 46, 49, 57, 58, 59, 60, 62, 64, 69, 72, 93
- Davis, M.F. 2003. History of Spatial Coding. *Journal of the Audio Engineering Society*, 51(6):554–569. 104, 105
- De Boer, E. & Bouwmeester, J. 1974. Critical Bands and Sensoneural Hearing Loss. *Audiology*, 13:236–259. 25

- Dearden, D. 2009. RE: [Fwd: [David Dearden - Technical Director] Product Feedback: ASP 008]. Persoonlike e-pos kommunikasie, 2009/09/04. 71
- DeLapp, A.R. 2007. Behind the Gear. This issue's Magical Mic Modder Michael Joly. *Tape Op Magazine*, 2007 Mei/Junie(59):66. 75, 157
- Denisoff, R.S. 1975. *Solid Gold. The Popular Record Industry*. New Brunswick, NJ: Transaction Publishers. 5
- Derveaux, G., Chaigne, A., Joly, P. & Bécache, E. 2003. Time-domain simulation of a guitar: Model and method. *Journal of the Acoustical Society of America*, 114(6):3368–3383. 31
- Dolbear, A.E. 1881. Apparatus for Transmitting Sound by Electricity. Amerikaanse Patent # 239,742. 41
- Donald, R. & Spann, T. 2000. *Fundamentals of Television Production*. Ames, IA: Iowa State University Press. 97
- Dooley, W.L. 2008. Evolution of an icon. *Resolution Magazine*, 7(6):58–60. 49
- Dooley, W.L. & Streicher, R.D. 1982. M-S Stereo: A Powerful Technique for Working in Stereo. *Journal of the Audio Engineering Society*, 30(10):707–718. 109
- Dove, S. 2002. Consoles and Computers. In G. Ballou (red.), *Handbook for Sound Engineers. Third Edition*, bladsye 685–874. Oxford: Focal Press. 44, 61, 62, 66, 71, 72, 157
- Doyle, P. 2004. From 'My Blue Heaven' to 'Race with the Devil': Echo, Reverb and (Dis)ordered Space in Early Popular Music Recording. *Popular Music*, 23(1):31–49. 22
- Duffner, O., Marlow, S., Murphy, N., O'Connor, N. & Smeanton, A. 2005. Road Traffic Monitoring using a Two-Microphone Array. In *AES 118th Convention, preprint 6355*. Barcelona. 114
- Dunn, C. & Hawsford, M.O. 1991. Towards a Definitive Analysis of Audio System Errors. In *AES 91st Convention, preprint 3137(P-1)*. New York. 156
- Dunn, C. & Hawsford, M.O. 1992. Is the AESEBU/SPDIF Digital Audio Interface Flawed? In *AES 93rd Convention, preprint 3360(C-1)*. San Francisco. 146

- Dunn, J. 1998. Anti-Alias and Anti-Image Filtering: The Benefits of 96kHz Sampling Rate Formats for those who cannot hear above 20 kHz. In *AES 104th Convention, preprint 4734(P1-6)*. Amsterdam. 57
- Dyar, T.G. 1961. Techniques and Devices - Microphone Placement. *Ethnomusicology*, 5(1):49–51. 86, 95, 99
- Eargle, J.M. 1971. Multichannel Stereo Matrix Systems: An Overview. *Journal of the Audio Engineering Society*, 19(7):552–559. 107
- Eargle, J.M. 1986. An Overview of Stereo Recording Techniques for Popular Music. *Journal of the Audio Engineering Society*, 34(6):490–503. 1, 21, 77, 105, 112
- Eargle, J.M. 2001. *The Microphone Book*. Oxford: Focal Press. 40, 46, 48, 79, 121
- Eargle, J.M. 2003. *Handbook of Recording Engineering. Fourth Edition*. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers. 60, 116, 128
- Eargle, J.M. & Streicher, R. 1986. Acoustical Perspectives In Commercial Two-Channel Stereophonic Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*, 34(6):153–159. 111
- Edison, T.A. 1884. Electrical Indicator. Amerikaanse Patent # 307,031. 64
- Edison, T.A. 1889. Telephone. Amerikaanse Patent # 406,567. 40
- Eiche, J.F. 1990. *Guide to Sound Systems for Worship*. Buena Park, CA: Yamaha Corporation of America. 69
- Ekman, H. & Berg, J. 2006. Difference Between Musicians and Sound Engineers in Estimation of Egocentric Source Distance in a Concert Hall Stereophonic Recording. In *AES 28th International Conference*. Piteå, Swede. 95
- Elejabarrieta, M.J., Ezcurra, A. & Santamaría, C. 2000. Evolution of the Vibrational Behavior of a Guitar Soundboard along Successive Construction Phases by Means of the Modal Analysis Technique. *Journal of the Acoustical Society of America*, 108(1):369–378. 31
- Ellis, D. 2004. Spectrograms: Constant-Q (Log-frequency) and Conventional (linear). Beschikbaar by: <http://labrosa.ee.columbia.edu/matlab/sgram/> [Besoek op 2010/08/12]. 151
- Ellis, D.P.W. & Poliner, G. 2007. Identifying Cover Songs With Chroma Features and Dynamic Programming Beat Tracking. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, bladsye 1429–1432. Hawaiï. 11

- Elson, A. 1921. Architectural Acoustics. *The Musical Quarterly*, 7(4):469–482. 19
- Embleton, T.F.W. 1996. Tutorial on Sound Propagation Outdoors. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(1):31–48. 20, 21
- Emsley, J. 2007. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. Oxford: Oxford University Press. 65
- Engel, F. 1993. Walter Weber's Technical Innovation at the Reichs-Rundfunk-Gesellschaft. In *AES 94th Convention, preprint 3522*. Berlyn. 54
- Everest, F.A. 2000. *The Master Handbook of Acoustics. Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill. 15, 18, 19, 20, 21, 23, 57
- Everett, H. 2003. "The Association That I Have with This Guitar Is My Life": The Guitar as Artifact and Symbol. *Popular Music & Society*, 26(3):331–350. 31
- Everett, W. 2000. Confessions from Blueberry Hell, or, Pitch can be a Sticky Substance. In W. Everett (red.), *Expressions in Pop-Rock Music. A Collection of Critical and Analytical Essays*, bladsye 269–347. New York: Garland Publishing. 4, 18
- Eyring, C.F. 1930. Reverberation Time In "Dead" Rooms. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1:217–241. 22
- Fahy, F. 2001. *Foundations of Engineering Acoustics*. London: Academic Press. 19
- Faller, C. & Erne, M. 2005. Modifying Stereo Recordings Using Acoustic Information Obtained with Spot Recordings. In *AES 118th Convention, preprint 6507*. Barcelona. 116, 126
- Faran, J.J. 1951. Sound Scattering by Solid Cylinders and Spheres. *Journal of the Acoustical Society of America*, 23(4):405–418. 73
- Fause, K.R. 1995. Fundamentals of Grounding, Shielding, and Interconnection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 43(6):498–516. 70
- Filippi, P., Habault, D., Lefebvre, J. & Bergassoli, A. 1999. *Acoustics: Basic Physics, Theory and Methods*. London: Academic Press. 14
- Firth, I.M. 1997. Physics of the Guitar at the Helmholtz and First Top-Plate Resonances. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61(2):588–1593. 31

- Firth, S. 1996. *Performing Rites: on the Value of Popular Music*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 6
- Firth, S. 2001. Pop Music. In S. Firth, W. Straw & J. Street (eds.), *The Cambridge Companion to Pop and Rock*, bladsye 93–108. Cambridge: Cambridge University Press. 4
- Fitzgerald, J. 1996. Lennon-McCartney and the ‘Middle Eight’. *Popular Music & Society*, 20(4). 6
- Fitzroy, D. 1959. Reverberation Formula Which Seems to Be More Accurate with Nonuniform Distribution of Absorption. *Journal of the Acoustical Society of America*, 31(7):893–897. 23
- Flanagan, J.L. 1972. Voices of Men and Machines. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 51(5A):1375–1387. 36
- Flanagan, S. & Taylor, V. 1999. Investigation into the Relationship between Subjective Loudness and Auditory Distance Perception. In *AES 118th Convention, preprint 5049*. New York. 19
- Fletcher, H. 1924. The Physical Criterion for Determining the Pitch of a Musical Tone. *Phys. Rev.*, 23(3):427–437. 15
- Fletcher, H. 1931. Some Physical Characteristics of Speech and Music. *Rev. Mod. Phys.*, 3(2):258–279. 19
- Fletcher, H. 1940. Auditory Patterns. *Rev. Mod. Phys.*, 12:47–66. 14, 15, 25
- Fletcher, H. 1969. The Ear as a Measuring Instrument. *Journal of the Audio Engineering Society*, 17(5):532–534. 18, 32
- Fletcher, H. & Munson, W. 1933. Loudness, its Definition, Measurement and Calculation. *Journal of the Acoustical Society of America*, 5:82–108. 23, 84
- Fletcher, N.H. 1999. The Nonlinear Physics of Musical Instruments. *Reports on Progress in Physics*, 62:723–746. 30
- Fletcher, N.H. & Rossing, T.D. 1998. *The Physics of Musical Instruments. Second Edition*. New York: Springer-Verlag. 31, 33, 37
- Forrest, D. 1946. From Score to Screen. *Hollywood Quarterly*, 1(2):224–229. 105
- Fouqué, M. & Redlich, H. 1962. Space Information In Stereophony. In *AES 14th Annual Meeting, preprint 267*. 10

- Franklib, J. 1993. Pay to Play: Enacting a Performance Right in Sound Recordings in the Age of Digital Audio Broadcasting. *University of Miami Entertainment & Sports Law Review*, 10:83–116. 166
- Frankort, F.J.M. 1978. Vibration Patterns and Radiation Behavior of Loudspeaker Cones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 28(9):609–622. 34
- Franz, D. 2003. *Producing in the Home Studio with Pro Tools. Second Edition*. Boston: Berklee Press. 81
- Franz, D. 2004. *Recording and Producing in the Home Studio: a Complete Guide*. Boston: Berklee Press. 132
- Frederick, H.A. 1931. The Development of the Microphone. *Journal of the Acoustical Society of America*, 3(1B):1–30. 38, 40, 41, 104
- Frith, S. 1988. *Music for Pleasure: Essays in the Sociology of Pop*. New York: Routledge. 7
- Frost, G.L. 2010. *Early FM Radio: Incremental Technology in Twentieth-Century America*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. 105
- Fuchigami, N., Kuroiwa, T. & Suzuki, B.H. 2000. DVD-Audio Specifications. *Journal of the Acoustical Society of America*, 48(12):1228–1240. 57
- Fukada, A. 2001. A Challenge in Multichannel Music Recording. In *AES 19th International Conference*. Schloss Elmau, Duitsland. 115
- Fukada, A., Tsujimoto, K. & Akita, S. 1997. Microphone Techniques for Ambient Sound on a Music Recording. In *AES 103rd Convention, pre-print 4540 (F-2)*. New York. 115
- Furman, C.E. & Duke, R.A. 1988. Effect of Majority Consensus on Preferences for Recorded Orchestral and Popular Music. *Journal of Research in Music Education*, 36(4):220–231. 12
- Gammond, P. 1991. *The Oxford Companion to Popular Music*. New York: Oxford University Press. 4
- Gardner, M.B. 1973. Source Radiation Characteristics. *Journal of the Audio Engineering Society*, 21(6):430–437. 27
- Gardner, M.B. & Gardner, R.S. 1973. Problem of Localization in the Median Plane: Effect of Pinnae Cavity Occlusion. *Journal of the Acoustical Society of America*, 53(2):400–408. 26

- Garrod, S.A.R., Benson, K.B. & Fink, D.G. 2002. Analog/Digital Signal Conversion. In J.C. Whitaker & K.B. Benson (reds.), *Standard Handbook of Audio and Radio Engineering. Second Edition*, bladsye 6-5-6-14. New York: McGraw-Hill. 45
- Gaston, L. 2006. Tactile Strategies and Resources for Teaching Multichannel Sound Concepts. In *AES 120th Convention, preprint 6689*. Parys. 105
- Gaver, W.W. 1993. What in the World Do We Hear? An Ecological Approach to Auditory Event Perception. *Journal of the Audio Engineering Society*, 5(1):1-29. 30
- Geddes, E.R. 1986. Source Radiation Characteristics. *Journal of the Audio Engineering Society*, 34(6):464-476. 30
- George, S., Zielinski, S. & Rumsey, F. 2006. Initial Developments of an Objective Method for the Prediction of Basic Audio Quality for Surround Audio Recordings. In *AES 120th Convention, preprint 6686*. Parys. 13
- Geringer, J.M. & Madsen, C.K. 1987. Pitch and Tempo Preferences in Recorded Popular Music. In C.K. Madsen & C.A. Prickett (reds.), *Applications of Research in Music Behavior*, bladsye 204-212. Tuscaloosa, AL: University of Alabama University Press. 11
- Gerzon, M.A. 1973. Periphony: With-height sound reproduction. *J. Audio Eng. Soc*, 21(1):2-10. 115
- Gerzon, M.A. 1976. Blumlein Stereo Microphone Technique. *Journal of the Audio Engineering Society*, 24(1):36-37. 109
- Gerzon, M.A. 1985. Ambisonics in Multichannel Broadcasting and Video. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(11):859-871. 107, 115
- Gerzon, M.A. 1992a. General Metatheory of Auditory Localisation. In *AES 92nd Convention, preprint 3306*. Wenen. 26
- Gerzon, M.A. 1992b. Microphone Techniques for 3-Channel Stereo. In *AES 93rd Convention, preprint 3450*. San Francisco. 112, 115
- Gerzon, M.A. 1992c. Signal Processing for Simulating Realistic Stereo Images. In *AES 93rd Convention, preprint 3423*. San Francisco. 121
- Gerzon, M.A. 1992d. The Design of Distance Panpots. In *AES 92nd Convention, preprint 3308*. Wenen. 27, 29
- Gerzon, M.A. 1994. Applications of Blumlein Shuffling to Stereo Microphone Techniques. *Journal of the Audio Engineering Society*, 42(6):425-453. 112

- Gibbon, D., Mertins, I. & Moore, R. 2000. *Handbook of Multimodal and Spoken Dialogue Systems: Resources, Terminology and Product Evaluation*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers. 148
- Gibson, B. 2002. *Sound Advice on Mixing*. Boston, MA: Artistpro. 81
- Gibson, P., Norris, E. & Alcock, P. 1992. *Music. The Rock Classic Connection*. Cape Town: Oxford University Press. 10
- Gilbert, K.E. & White, M.J. 1989. Application of the Parabolic Equation to Sound Propagation in a Refracting Atmosphere. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85(2):630–637. 30
- Gill, D. 1981. Vihuelas, Violas and the Spanish Guitar. *Early Music*, 9(4):455–462. 30
- Gillet, O. & Richard, G. 2008. Transcription and Separation of Drum Signals From Polyphonic Music. *Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on*, 16(3):529–540. 165
- Giordano, N.J. 2010. *College Physics: Reasoning and Relationships*. Belmont, CA: Brooks/Cole, Cengage Learning. 21
- Gladstone, J. & Bevirt, W.D. 1997. *HVAC Testing, Adjusting, and Balancing Manual*. New York: McGraw-Hill. 15
- Glasberg, B.R. & Moore, B.C.J. 2010. The Loudness of Sounds Whose Spectra Differ at the Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(4):2433–2440. 25
- Glover, R.P. 1940. A Review of Cardioid Type Unidirectional Microphones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 11(3):296–302. 54, 133
- Goldstein, J.L. 1973. An Optimum Processor Theory for the Central Formation of the Pitch of Complex Tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 54(1):317–317. 15
- Goodson, L. 1991. Microphone Selection and Balance Techniques for Television, Stereo, and Surround Sound. In *AES 9th International Conference*, bladsye 105–118. Detroit. 110
- Goto, M. & Hirata, K. 2004. Recent Studies on Music Information Processing. *Acoust. Sci. & Tech.*, 25(6):419–425. 79, 161
- Gracyk, T. 2007. *Listening to Popular Music, or, how I Learned to Stop Worrying and Love Led Zeppelin*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press. 3

- Grafin, K.G. 1974. Alpheus Babcock's Cast-Iron Piano Frames. *The Galpin Society Journal*, 27:118–124. 32
- Gratz, J. 2004. Reform in the 'Brave Kingdom': Alternative Compensation Systems for Peer-To-Peer File Sharing. *Minnesota Journal of Law, Science & Technology*, 6:399–430. 163
- Green, I.W. & Maxfield, J.P. 1977. Public Address Systems. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(4):184–195. 21
- Greenspun, P. & Klotz, L. 1988. Audio Analysis VI: Testing Audio Cables. *Computer Music Journal*, 12(1):58–64. 66
- Greenwood, D.D. 1961a. Auditory Masking and the Critical Band. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33(4):484–502. 25
- Greenwood, D.D. 1961b. Critical Bandwidth and the Frequency Coordinates of the Basilar Membrane. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33(10):1344–1356. 25
- Greiner, R.A. & Eggers, J. 1989. The Spectral Amplitude Differences of Selected Compact Discs. *Journal of the Audio Engineering Society*, 37(4):246–275. 79
- Greiner, R.A. & Melton, D.E. 1994. Observations on the Audibility of Acoustic Polarity. *Journal of the Audio Engineering Society*, 42(4):245–253. 17
- Grey, J.M. 1975. An Exploration of Musical Timbre. Ph.D. verhandeling, CCRMA. Stanford Universiteit, Palo Alto, Kalifornië. 17
- Grey, J.M. 1977. Multidimensional Perceptual Scaling of Musical Timbres. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61(5):1270–1277. 17
- Griesinger, D. 1985. Spaciousness and Localization in Listening Rooms - How to Make Coincident Recording Sound as Spacious as Spaced Microphone Arrays. In *AES 79st Convention, preprint 2294*. New York. 28, 108, 124
- Griesinger, D. 1987. New Perspectives on Coincident and Semi Coincident Microphone Arrays. In *AES 82nd Convention, preprint 2464 (H-4)*. London. 26
- Griesinger, D. 1990. Binaural Techniques for Music Reproduction. In *AES 8th International Conference*, bladsye 197–207. Washington. 113
- Griesinger, D. 1992a. Measures of Spatial Impression and Reverberance Based on the Physiology of Human Hearing. In *AES 11th International Conference*, bladsye 114–145. Portland. 25

- Griesinger, D. 1992b. Room Impression, Reverberance, and Warmth in Rooms and Halls. In *AES 93rd Convention, preprint 3383 (F-6)*. San Francisco. 29
- Griesinger, D. 1995. How Loud is my Reverberation? In *AES 98th Convention, preprint 3943*. Parys. 23
- Griesinger, D. 1996. Spaciousness and Envelopment in Musical Acoustics. In *AES 101st Convention, preprint 4401*. Los Angeles. 28
- Griesinger, D. 1997. Spatial Impression and Envelopment in Small Rooms. In *AES 103rd Convention, preprint 4638*. New York. 27
- Griesinger, D. 1998. General Overview of Spatial Impression, Envelopment, Localization, and Externalization. In *AES 15th International Conference*. Copenhagen. 121
- Griesinger, D. 1999. Objective Measures Of Spaciousness And Envelopment. In *AES 16th International Conference*. Rovaniemi, Finland. 121, 141
- Griesinger, D. 2000. The Theory and Practice of Perceptual Modeling - How to use Electronic Reverberation to Add Depth and Envelopment Without Reducing Clarity. In *Tonmeister Conference - November 2000*. Hannover, Duitsland. 28
- Griesinger, D. 2001. The Psychoacoustics of Listening Area, Depth, and Envelopment in Surround Recordings, and Their Relationship to Microphone Technique. In *AES 19th International Conference*. Schloss Elmau, Duitsland. 86, 111
- Griesinger, D. 2005. The Physics and Psycho-Acoustics of Surround Recording Part 2. In *AES 11th Regional Convention*. Tokyo. 81
- Griesinger, D. 2006. Pitch Coherence as a Measure of Apparent Distance in Performance Spaces and Muddiness in Sound Recordings. In *AES 121st Convention*. San Francisco. 95
- Gross, K. 2010. Audio Networking. Applications and Requirements. *Journal of the Audio Engineering Society*, 54(1/2):62–66. 45
- Gura, P.F. 2003. *C.F. Martin & His Guitars, 1796-1873*. Chapel Hill, NC: University of North Carolina Press. 31
- Haas, H. 1972. The Influence of a Single Echo on the Audibility of Speech. *Journal of the Audio Engineering Society*, 20(2):146–159. 27

- Hall, D.E. 1986. Piano String Excitation in the Case of Small Hammer Mass. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 79(1):141–147. 32
- Hamasaki, K., Okubo, H., Nishiguchi, T., Nakayama, Y., Okumura, R. & Iwaki, M. 2005. Advanced Multichannel Audio System for Reproducing a Live Sound Field with Ultimate Sensation of Presence. In *AES 119th Convention, preprint 6559*. New York. 84
- Hamasaki, K., Okubo, H., Nishiguchi, T., Nakayama, Y., Okumura, R. & Iwaki, M. 2006. Natural Reproduction of Symphony Orchestra Music by an Advanced Multichannel Live Sound System. In *AES 121st Convention, preprint 6966*. San Francisco. 84
- Hamilton, A. 2003. The Art Of Recording and the Aesthetics of Perfection. *British Journal of Aesthetics*, 43(4):345–362. 77
- Hamlen, W.A. 1991. Superstardom in Popular Music: Empirical Evidence. *The Review of Economics and Statistics*, 73(4):729–733. 10
- Hamm, C. 1995. *Putting Popular Music in its Place*. Cambridge: Cambridge University Press. 4
- Hamm, R.O. 1973. Tubes Versus Transistors. Is There an Audible Difference? *Journal of the Audio Engineering Society*, 21(4):267–273. 64
- Hammond, L. 1934. Electrical Musical Instrument. Amerikaanse Patent # 1,956,350. 33
- Hansen, V. & Madsen, E.R. 1974. On Aural Phase Detection. *Journal of the Audio Engineering Society*, 22(1):10–14. 16
- Hanson, O.B. 1931. Microphone Technique In Radio Broadcasting. *Journal of the Acoustical Society of America*, 3(1A):94–110. 99
- Hargreaves, D.J., Comber, C. & Colley, A. 1995. Effects of Age, Gender, and Training on Musical Preferences of British Secondary School Students. *Journal of Research in Music Education*, 43(3):242–250. 11
- Harley, R. 2004. *The Complete Guide to High-End Audio. Third Edition*. Tijeras, N.M., V.S.A.: Accapella Publishing. 18, 89
- Harris, S., Kamath, G. & Gaalas, E. 1999. A Monolithic 24-bit, 96-kHz Sample Rate Converter with AES3 Receiver. In *AES 106th Convention, preprint 4965(S7)*. Munich. 45

- Harrold, G.B., Lunden, J.W., Doyle, J.E., Kim, C.S., Nelson, C.E., Wessel, G.K., Tehon, S.W., Lin, Y. J. Wang, W. & Lord, H.W. 2004. Radio-Frequency Amplifiers And Oscillators. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 10–74–10–75. New York: McGraw-Hill. 44
- Hartley, R.V.L. 1919. The Function of Phase Difference in the Binaural Location of Pure Tones. *Phys. Rev.*, 13(6):373–385. 26
- Hartley, R.V.L. & Fry, T.C. 1921. The Binaural Location of Pure Tones. *Phys. Rev.*, 18(6):431–442. 26
- Harvey, F.K. & Uecke, E.H. 1961. Compatibility Problems in Two-Channel Stereophonic Recordings. In *AES 13th Annual Meeting, preprint 197*. New York. 105, 113
- Harvey, K.K. & Schroeder, M.R. 1961. Subjective Evaluation of Factors Affecting Two-Channel Stereophony. *Journal of the Acoustical Society of America*, 9(1):19–28. 26
- Hawley, M.S., Romanow, F.F. & Warren, J.E. 1995. The Western Electric 640AA Capacitance Microphone: Its History and Theory of Operation. In G.S.K. Wong & T.F.W. Embleton (reds.), *AIP Handbook of Condensor Microphones*, bladsye 8–33. New York: AIP Press. 42
- Hawsford, M.J. 1981. Distortion Correction in Audio Power Amplifiers. *Journal of the Audio Engineering Society*, 29(1/2):27–30. 34
- Heaviside, O. 1885. Electromagnetic Induction and its Propagation. *The Electrician*, bladsye 230–231. 46
- Heideman, M., Johnson, D. & Burrus, C. 1984. Gauss and the History of the Fast Fourier Transform. *ASSP Magazine, IEEE*, 1(4):14–21. 15
- Hennion, A. 1989. An Intermediary between Production and Consumption: The Producer of Popular Music. *Science, Technology, & Human Values*, 14(4):400–424. 140
- Herrera, J., Hanson, C. & Abel, J.S. 2009. Discrete Time Emulation of the Leslie Speaker. In *AES 127th Convention, preprint 7925*. New York. 35
- Hesmondhalgh, D. 1999. Indie: The Institutional Politics And Aesthetics Of A Popular Music Genre. *Cultural Studies*, 13(1):674–682. 11
- Hess, A.G. 1953. The Transition from Harpsichord to Piano. *The Galpin Society Journal*, 6:75–94. 32
- Heyser, R.C. 1969. Geometrical Considerations of Subjective Audio. *Journal of the Audio Engineering Society*, 17(1):30–41. 34

- Heyser, R.C. 1974. Geometrical Considerations of Subjective Audio. *Journal of the Audio Engineering Society*, 22(9):674–682. 81
- Hibbing, M. 1985. Design of a low noise studio condenser microphone. In *AES 77th Convention, preprint 2215(E-3)*. Hamburg. 61
- Hibbing, M. 1989. XY and MS Microphone Techniques in Comparison. *Journal of the Audio Engineering Society*, 37(10):823–831. 117
- Hibbing, M. 2001. Design of Studio Microphones with Extended High-Frequency Response. In *AES 111th Convention, preprint 5465*. New York. 57
- Hibbing, M. & Griesse, H. 1981. New Investigationson Linearity Problems Of Capacitive Transducers. In *AES 68th Convention, preprint 1752(F-1)*. Hamburg. 60
- Hiekkanen, T., Lempiäinen, T., Mattila, M., Pulkki, V. & Veijanen, V. 2007. Reproduction of Virtual Reality with Multichannel Microphone Techniques. In *AES 122nd Convention, preprint 7070*. Wenen. 114
- Hilliard, J. 1962. The History of Stereophonic Sound Reproduction. *Proceedings of the IRE*, 50(5):776–780. 104
- Hilliard, J. 1985. A Brief History of Early Motion Picture Sound Recording and Reproducing Practices. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(4):271–278. 84
- Hirsch, S. & Heithecker, S. 2006. *Pro Tools 7 Session Secrets: Professional Recipes for High-Octane Results*. Indianapolis: Wiley Publishing Inc. 124
- Hoffmann, F.W. & Ferstler, H. 2005. *Encyclopedia of Recorded Sound. Second Edition*. Boca Raton, FL: CRC Press. 40, 42
- Holden, S. 2002. *Python Web Programming*. Berkeley, CA: New Riders Publishing. 147
- Holland, S.S. 2003. Electronic Pianos. In R. Palmieri (red.), *Piano: an encyclopedia*, bladsye 2–7–2–23. New York: Routledge. 33
- Holman, T. 1990. Surround Sound Systems Used with Pictures in Cinemas and Homes. In *AES 8th International Conference*, bladsye 191–196. Washington. 106
- Holman, T. 1997. *Sound for Film and Television. Second Edition*. Oxford: Focal Press. 50, 73, 88

- Holman, T. 2000. *5.1 Surround Sound: Up and Running*. Oxford: Focal Press. 116
- Holtz, S. & Hobson, N. 2000. *How to do Everything with Podcasting*. New York: McGraw-Hill. 141
- Hopkin, B. 2002. *Getting a Bigger Sound: Pickups and Microphones for Your Musical Instrument*. Tuscon, AZ: See Sharp Press. 34
- Horning, S.S. 2004. Engineering the Performance: Recording Engineers, Tacit Knowledge and the Art of Controlling Sound. *Social Studies of Science*, 34(5):703–731. 77, 87
- Hounshell, D.A. & Smith, J.K. 1988. *Science and Corporate Strategy: Du Pont R & D, 1902-1980*. Cambridge: Cambridge University Press. 46
- Howard, D.M. & Angus, J. 1999. *Acoustics and Psychoacoustics*. Burlington, MA: Focal Press. 15
- Huang, K. 2001. *Introduction to statistical physics*. New York: Taylor & Francis. 60
- Huber, D.M. & Runstein, R.E. 1997. *Modern Recording Techniques. Fourth Edition*. Boston: Focal Press. 42, 47, 48, 64, 79, 126
- Hugonnet, C. & Jouhaneau, J. 1987. Comparative spatial transfer function of six different stereophonic systems. In *AES 82nd Convention*. London. 117, 124
- Hulsebos, E., Schuurmans, T., De Vries, D. & Boone, R. 2003. Circular Microphone Array for Discrete Multichannel Audio Recording. In *AES 114th Convention, preprint 5716*. Amsterdam. 114
- Hunnings, H. 1878. Transmitter. Britse Patent # 3647. 41
- Hurtig, B. 1988. *Multi-track Recording for Musicians*. Van Nuys, CA: Alfred Publishing Company. 100, 138
- Hutto, E. 1977. Emile Berliner, Eldridge Johnson, and the Victor Talking Machine Company. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(10/11):666–673. 40
- IEC 61938. 1996. *Audio, Video and Audiovisual Systems – Interconnections and Matching Values – Preferred Matching Values of Analogue Signals*. Geneva: International Electrotechnical Commission. 47
- Immink, K.A.S. 2010. Any Song, Anytime, Anywhere. *Journal of the Audio Engineering Society*, 58(1/2):73–79. 45

- Ingils, I. 2006. The Ed Sullivan Show and the (Censored) Sounds of the Sixties. *The Journal of Popular Culture*, 39(4):558–575. 121
- Isaksson, A., Saldner, H.O. & Molin, N.E. 1995. Influence of Enclosed Air on Vibration Modes of a Shell Structure. *Journal of Sound and Vibration*, 187(3):451–466. 31
- ITT XL:2008. 1978. *Cannon Audio XL*. ITT Interconnect Solutions, 666 East Dyer Road Santa Ana, CA 92705, USA. 69
- Izhaki, R. 2008. *Mixing Audio: Concepts, Practices and Tools*. Oxford: Focal Press. 80
- James, E. 2003. Stereo Recording: Comparing Stereo Mic Techniques. *Sound on Sound Magazine*, 18(3):38–41. 118
- Jansson, E.V. 1969. A Comparison of Acoustical Measurements and Hologram Interferometry Measurements of the Vibrations of a Guitar Top Plate. *STL-QPSR*, 10(2-3):36–41. 31
- Jecklin, J. 1981. A Different Way to Record Classical Music. *Journal of the Audio Engineering Society*, 29(5):329–332. 1, 113
- Jensen, D. & Sokolich, G. 1998. Spectral Contamination Measurement. In *AES 85th Convention, preprint 2725 (I-2)*. Los Angeles. 156
- Jensen, R.d. 1985. The Guitar and Italian Song. *Early Music*, 13(3):376–383. 30
- Jeong, J.H., Kim, G.H., Min, B.R., Ahn, C.H. & Cho, G.H. 1997. A High Efficiency Class A Amplifier Accompanied by Class D Switching Amplifier. In *Power Electronics Specialists Conference, 1997. PESC '97 Record., 28th Annual IEEE*, volume 2, bladsye 1210–1216. 34
- Jepson, B. & Rothman, E.E. 2005. *Mac OS X Tiger for Unix Geeks*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 147
- Jetzt, J.J. 1979. Critical Distance Measurement of Rooms from the Sound Energy Spectral Response. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 65(5):1204–1211. 23
- Jiang, D., Lu, L., Zhang, H., Tao, J. & Cai, L. 2002. Music Type Classification by Spectral Contrast Feature. In *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME02)*. Lausanne. 79, 161
- Johnsen, C. 1991. Proofs of an Absolute Polarity. In *AES 91st Convention*. New York. 16

- Johnson, J.B. 1928. Thermal Agitation of Electricity in Conductors. *Phys. Rev.*, 32(1):97. 41
- Johnston, R., Boak, D. & Longworth, M. 2009. *Martin Guitars: A Technical Reference*. Milwaukee, WI: Hal Leonard. 31
- Johnstone, J. & Katz, E. 1957. Youth and Popular Music: A Study in the Sociology of Taste. *The American Journal of Sociology*, 62(6):563–568. 11
- Jones, W.B. 1932. Method and Means for the Ventriloquial Production of Sound. Amerikaanse Patent # 1,855,149. 113
- Jones, W.C. & Giles, L.W. 1931. A Moving Coil Microphone for High Quality Sound Reproduction. *Journal of the Society of Motion Picture Engineers*, 17(6):977–993. 48
- Josephson, D. 1990. Nonlinearities in condenser microphone electronics; design considerations for new solid-state microphones. In *AES 89th Convention, preprint 2983*. Los Angeles. 60, 65, 66, 71
- Josephson, D. 1999. A Brief Tutorial on Proximity Effect. In *AES 107st Convention, preprint 5058*. New York. 93
- Julien, O. 1999. The Diverting of Musical Technology by Rock Musicians: The Example of Double-Tracking. *Popular Music*, 18(3):357–365. 9
- Julstrom, S. 1990. An Intuitive View of Coincident Stereo Microphones. In *AES 101st Convention, preprint 2984*. Los Angeles. 109
- Kaiser, J.A. & Hedden, G.H. 2007. Another Look at the Importance of Transducer Polarity in the Recording Studio. In *AES 91st Convention, preprint 3172 (J-5)*. New York. 16, 17
- Kassier, R., Lee, H., Brookes, T. & Rumsey, F. 2005. An Informal Comparison Between Surround-Sound Microphone Techniques. In *AES 118th Convention, preprint 6429*. Barcelona. 115
- Katz, R. 2002. *Mastering Audio - The Art and the Science*. Oxford: Focal Press. 1, 20, 78, 79, 82, 84, 95, 109, 164
- Keele, D.B. 1991. Measurement of Polarity in Band-Limited Systems. In *AES 91st Convention, preprint 3168 (K-2)*. New York. 17
- Kefauver, A.P. 2001. *The Audio Recording Handbook*. Middleton: A-R Editions. 38, 51

- Killion, M.C. 1975. Vibration Sensitivity Measurements on Subminiature Condenser Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 23(2):123–127. 72
- Killion, M.C. & Carlson, E.V. 1974. A Subminiature Electret-Condenser Microphone of New Design. *Journal of the Audio Engineering Society*, 22(4):237–243. 46, 156
- Kim, S., De Francisco, M., Walker, K., Atshushi, M. & Martens, W.L. 2006. An Examination of the Influence of Musical Selection on Listener Preferences for Multichannel Microphone Technique. In *AES 28th International Conference, preprint 13853*. Piteå, Sweden. 1, 83, 115, 116
- Kim, Y.E. & Whitman, B. 2002. Singer Identification in Popular Music Recordings Using Voice Coding Features. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Music Information Retrieval*, bladsye 164–169. Parys. 35
- Kingsford-Smith, C. 2006. Oscillators, Function Generators, Frequency and Waveform Synthesizers. In C.F. Coombs (red.), *Electronic Instrument Handbook. Third Edition*, bladsye 16–1–16–25. New York: McGraw Hill. 43, 44
- Kirby, D. 1995. Twisted-Pair Cables for AES/EBU Digital Audio Signals. *Journal of the Audio Engineering Society*, 43(3):137–146. 70
- Klapholz, J. 1988. Auditory Spatial Impression. In *AES 6th International Conference, preprint 6-002*. Nashville. 38, 46, 47, 48, 54
- Klipsch, P. 1959. Wide-stage stereo. *Audio, IRE Transactions on*, 7(4):93–96. 104
- Kollmeier, B. 2008. Anatomy, Physiology and Function of the Auditory System. In D. Havelock, M. Vorländer & S. Kuwano (reds.), *Handbook of Signal Processing in Acoustics, Volume 1*, bladsye 147–158. New York: Springer Science+Business Media, LLC. 25
- Korzekwa, S.M. & McFadyen, R.J. 2004. Audio-Frequency Amplifiers and Oscillators. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 20–18–20–36. New York: McGraw-Hill. 145
- Kovinic, M., Drincic, D. & Jankovic, S. 2009. Low Noise Transformer Input Pre-amp Design - A Solution that eliminates CMID. In *AES 126th Convention, preprint 7760*. Munich. 157

- Kubota, H. 1976. Back Electret, a Method to Improve Performance of Condenser Microphone of Electret Design. In *AES 55th Convention, preprint 1157*. New York. 46
- Kuhl, W.K. 1960. Acoustic Reverberation Arrangements. Amerikaanse Patent # 2,923,369. 23
- Kuttruff, K.H. 2007. Sound Propagation in Rooms. In M.J. Crocker (red.), *Handbook of Noise and Vibration Control*, bladsye 52–66. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 20
- L20H Manual 2007 Issue 1.2. 2007. *Laney Lionheart L20H Operating Instructions - 1.2*. Laney Electronics Ltd., Newlyn Road, Cradley Heath, West Midlands, England. 162
- Lagadec, R. & Weiss, D. 1981. A New Approach To Transient Intermodulation (TIM) Distortion Measurements. In *AES 68th Convention, preprint 1750 (E-1)*. Hamburg. 82
- Lai, J.C.S. & Burgess, M.A. 1990. Radiation Efficiency of Acoustic Guitars. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88(3):1222–1227. 31
- Lamb, D.S. & Kamalasadan, S. 2006. A new Design for Audio Clipping Pre-amplifiers based on Silicon Control Rectifiers. In *Proceedings of The 2006 IJME - INTERTECH Conference. Session ENG 203-078*. Union, New Jersey. 35
- Lampen, S.H. 2000. Transporting Audio Signals on Category 5 UTP. In *AES 109th Convention, preprint 5248*. Los Angeles. 67, 70
- Lampen, S.H. 2002. Cable Impedance and Digital Audio. In *AES 113th Convention, preprint 5667*. Los Angeles. 69
- Langen, C. 2007. Demystifying the Measurement of Impulse Response in Condenser Microphones - Part I. In *AES 122st Convention, preprint 7065*. Wenen. 43, 58, 59, 156
- Langtangen, H.P. 2009. *Python Scripting for Computational Science. Third Edition*. Berlyn: Springer-Verlag. 147
- Lassfolk, K. & Uimonen, J. 2008. Spectutils, an Audio Signal Analysis and Visualization Toolkit for Gnu Octave. In *Proceedings of the 11th International Conference on Digital audio Effects (DAFx-08)*, bladsye 289–292. Espoo, Finland. 147
- Leakey, D.M. 1959. Some Measurements on the Effects of Interchannel Intensity and Time Differences in Two Channel Sound Systems. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 31(7):977–986. 26

- LeBlanc, A., Sims, W.L., Siivola, C. & Obert, M. 1996. Music Style Preferences of Different Age Listeners. *Journal of Research in Music Education*, 44(1):49–59. 11
- Lehnert, H. 1993. Auditory Spatial Impression. In *AES 12th International Conference*. Copenhagen. 18, 24, 28, 29, 105
- Lehnert, W.E. 1953. Consideration of Some Factors Concerning the Use of Audio Transformers. *Journal of the Audio Engineering Society*, 1(1):105–110. 157
- Leinonen, E., Ojala, M. & Curl, J. 1976. Method for Measuring Transient Intermodulation Distortion (TIM). In *AES 55th Convention, preprint 1185 (H-6)*. New York. 82
- Leonard, T. 1993. Time Delay Compensation of Distributed Multiple Microphones in Recording: An Experimental Evaluation. In *AES 95th Convention, preprint 3710*, bladsye 41–46. New York. 116
- Leslie, D.J. 1949. Apparatus for Imposing Vibrato on Sound. Amerikaanse Patent # 2,662,693. 35
- Letowski, T. 1985. Development of Technical Listening Skills: Timbre Solfeggio. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(4):240–244. 78
- Letowski, T. 1989. Sound Quality Assessment: Concepts and Criteria. In *AES 87th Convention, preprint 2825*. New York. 12
- Levitin, D.J. 2001. Instrument (and Vocal) Recording Tips and Tricks. In K. Greenebaum & R. Barzel (reds.), *Audio Anecdotes. Tools, Tips and Techniques for Digital Audio*, bladsye 147–158. Natick, Massachusetts, V.S.A.: A. K. Peters. 124
- Lewine, D.A. 1991. *POSIX Programmer's Guide: Writing Portable Unix Programs*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 148
- Lewis, G.H. 1988. The Creation of Popular Music: A Comparison of the "Art Worlds" of American Country Music and British Punk. *International Review of the Aesthetics and Sociology of Music*, 19(1):35–51. 5
- Lewis, J.D. 2005. *Michael Jackson, The King of Pop! The Big Picture! The Music! The Man! The Legend! The Interviews! An Anthology*. Phoenix, AZ: Amber Books. 135
- Lewis, L.A. 1992. *The Adoring Audience: Fan Culture and Popular Media*. London: Routledge. 121

- Lininger, T.C. 1972. Microphone Transient Response Measurement. In *AES 42nd Convention, preprint 846*. Los Angeles. 58, 59
- Linkwitz, S. & Barringer, D. 2009. Recording and Reproduction over Two Loudspeakers as Heard Live. Part 1: Hearing, Loudspeakers and Rooms. In *AES 126th Convention, preprint 7670*. Munich. 140
- Lipshitz, S.P. 1985. Stereo Microphone Techniques are the Purists Wrong? In *AES 78th Convention, preprint 2261*. Anaheim, Duitsland. 104, 106, 108, 124
- Lockheart, P. 2003. A History of Early Microphone Singing, 1925-1939: American Mainstream Popular Singing at the Advent of Electronic Microphone Amplification. *Popular Music & Society*, 26(3):367–385. 36
- Lomax, A. 1959. Folk Song Style. *American Anthropologist*, 61(6):927–954. 6
- Long, R. 2005. Russ Long's Guide to Nashville Recording. Video Tutorial. 86, 124, 126, 135, 162
- Lopes, P.D. 1992. Innovation and diversity in the popular music industry, 1969 to 1990. *American Sociological Review*, 57(1):56–71. 5
- Loy, G. 2006. *Musimathics: The Mathematical Foundations of Music*. Cambridge, MA: MIT Press. 18
- LT-212 Manual 2007 Issue 1. 2007. *Laney Lionheart LT-212 Operating Instructions - 1*. Laney Electronics Ltd., Newlyn Road, Cradley Heath, West Midlands, England. 162
- Lyver, D. 2003. *Basics of Video Sound*. Burlington, MA: Focal Press. 64
- MA 2.2 User Manual V1. 2006. *Buzz MA 2.2 USER MANUAL VERSION 1*. Buzz Audio, Posbus 6677, Te Aro, Wellington, Nieu-Seeland. 145
- Macatee, S.R. 1995. Considerations in Grounding and Shielding Audio Devices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 34(6):472–483. 70
- MacGowan, K. 1957. Screen Wonders of the Past: And to Come? *The Quarterly of Film Radio and Television*, 11(4):381–393. 105
- MacNair, W.A. 1930. Optimum Reverberation Time For Auditoriums. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1:242–248. 23
- Madsen, C.K., Brittin, R.V. & Capperella-Sheldon, D.A. 1993. An Empirical Method for Measuring the Aesthetic Experience to Music. *Journal of Research in Music Education*, 41(1):57–69. 11

- Madsen, E.R. 1957. The Application of Velocity Microphones to Stereophonic Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*, 5(2):79–85. 49, 131
- Madsen, E.R. 1970. Extraction of Ambiance Information from Ordinary Recordings. *Journal of the Audio Engineering Society*, 18(5):490–496. 21
- Maeda, S. 1982. The Role of the Sinus Cavities in the Production of Nasal Vowels. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '82.*, volume 7, bladsye 911–914. Parys. 163
- Malloch, S.N. & Campbell, A.M. 1994. An Investigation of Musical Timbre. *Journal de Physique IV*, 4(C5):589–592. 18
- Mangiante, G.A. 1977. Active Sound Absorption. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 61(6):1516–1523. 20, 133
- Manus, M. & Manus, R. 2006. *Basix Bass Method*. Van Nuys, CA: Alfred Publishing. 33
- Martignon, P., Azzali, A., Cabrera, D., Capra, A. & Farina, A. 2005. Reproduction of auditorium spatial impression with binaural and stereophonic sound systems. In *AES 118th Convention*. Barcelona. 111
- Martin, D. 1998. Innovation and the Development of the Modern Six-String Guitar. *The Galpin Society Journal*, 51:86–109. 31
- Martin, D.W. 2004. Microphones, Loudspeakers, and Earphones. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 20.18–20.36. New York: McGraw-Hill. 34, 72, 163
- Martin, D.W. & Aarts, R.M. 2004a. Digital Audio Recording and Reproduction. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 20.37–20.53. New York: McGraw-Hill. 145
- Martin, D.W. & Aarts, R.M. 2004b. Speech and Musical Sounds. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 20.9–20.17. New York: McGraw-Hill. 36
- Martin, G. 1996. Microphone Techniques for Stereo and Multichannel (Tutorial Seminar). In *AES 121st Convention*. San Francisco. 54

- Martin, G. 2002. The Significance of Interchannel Correlation, Phase and Amplitude Differences on Multichannel Microphone Techniques. In *AES 113th Convention, preprint 5671*. Los Angeles. 108, 124
- Mason, R. & Rumsey, F. 2000. An Assessment of the Spatial Performance of Virtual Home Theatre Algorithms by Subjective and Objective Methods. In *AES 108th Convention, preprint 5137 (L - 6)*. Parys. 141
- McAdams, S. & Cunible, J. 1992. Perception of Timbral Analogies. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 336(1278):383–389. 18
- McIntyre, M.E. & Woodhouse, J. 1978. The Acoustics of Stringed Musical Instruments. *Interdisciplinary Science Reviews*, 3(2):157–173. 31
- McKay, C. & Fujinaga, I. 2004. Automatic Genre Classification Using Large High-Level Musical Feature Sets. In *In Int. Conf. on Music Information Retrieval, ISMIR 2004*, bladsye 525–530. 6
- McKinnie, D. 1991. Recording Techniques and Perception of Environment. In *AES 91st Convention*. New York. 111, 113
- Meddis, R. & O'Mard, L. 1997. A Unitary Model of Pitch Perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 102(3):1811–1820. 15
- Meinel, E. & Jansson, E.V. 1991. On The Influence of the Neck on the Guitar Body Vibrations. *STL-QPSR*, 32(4):11–18. 31
- Meinel, H. 1957. Regarding the Sound Quality of Violins and a Scientific Basis for Violin Construction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 29(7):817–822. 31
- Meinel, H. 1973. Regarding the Sound Quality of Violins and a Scientific Basis for Violin Construction. *IEEE Transactions On Audio and Electroacoustics*, 21(6):506–526. 17
- Meyer, J. 1972. Directivity of the Bowed Stringed Instruments and its Effect on Orchestral Sound in Concert Halls. *Journal of the Acoustical Society of America*, 51(5):1994–2009. 88
- Mickiewicz, W. 2004. Optimization of Microphone Setup for Symphonic Orchestra Recordings During Rehearsal. In *AES 116th Convention, preprint 6134*. Berlyn. 112
- Middlebrooks, J. & Greenhaw, D. 1991. Sound localization by human listeners. *Annual Review of Psychology*, 42(1):135. 26
- Middlebrooks, J.C., Makous, J.C. & Green, D.M. 1989. Directional Sensitivity of Sound-Pressure Levels in the Human Ear Canal. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 86(1):89–108. 26

- Middleton, R. 1990. *Studying Popular Music*. Buckingham: Open University Press. 4
- Middleton, R. 1993. Popular Music Analysis and Musicology: Bridging the Gap. *Popular Music*, 12(2):177–190. 4
- Middleton, R. 2000. *Reading Pop. Approaches to Textual Analysis in Popular Music*. Oxford: Oxford University Press. 4
- Middleton, R., Buckley, D., Walser, R., Laing, D. & Manuel, P. 2009. “Pop.” In: Grove Music Online. Beschikbaar by: <http://www.oxfordmusiconline.com/subscriber/article/grove/music/46845> [Bezoek op 2009/11/13]. 4
- Miessner, B.F. 1956. Electrical Tone Generator. Amerikaanse Patent # 2,761,127. 33
- Milanov, E.N. & Milanova, E.B. 2000. Proximity Effect Frequency Characteristics of Directional Microphones. In *AES 96th Convention, preprint 5077*. Parys. 93
- Milanov, E.N. & Milanova, E.B. 2001. Proximity Effect and Space Characteristics of Microphones. In *AES 110th Convention, preprint 5340*. Amsterdam. 93
- Milanov, E.N. & Milanova, E.B. 2002. Space Characteristics of Microphones in a Spherical Sound Wave. In *AES 112th Convention, preprint 5498*. Munich. 50
- Millard, A.J. 1995. *America on Record. A history of Recorded Sound. Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press. 9
- Millard, A.J. 2004. Inventing the Electric Guitar. In A.J. Millard (red.), *The electric guitar: a history of an American icon*, bladsy 41–62. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press. 33
- Miller, W.C. 1938. Basis of Motion Picture Sound. In J.G. Frayne, B. Kreuzer, B.F. Miller, W. Thayer & R. Townsend (reds.), *Motion Picture Sound Engineering. Sixth Printing*, bladsy 1–10. New York: D.Van Nostrand Company. 77
- Millot, L., Elliq, M., Lopes, M., Pelé, G. & Lambert, D. 2007. Revisiting Proximity Effect Using Broadband Signals. In *AES 122nd Convention, preprint 7106*. Wenen. 93
- Mills, A.W. 1958. On the Minimum Audible Angle. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 30(4):237–246. 27

- Mitchell, G. & Newman, M. 2009. How 'Thriller' Changed the Music Business. *Billboard Magazine*, 121(7):22–25. 135
- Mitchell, J. 2002. Loudspeakers. In G. Ballou (red.), *Handbook for Sound Engineers. Third Edition*, bladsye 489–536. Oxford: Focal Press. 62, 75, 159
- Mizoguchi, A., Imanaga, K. & Takeuchi, T. 1987. A Two-Way Wide Band Capacitor Microphone. In *AES 2nd Regional Convention, preprint 2661 (E-1)*. Tokyo. 45
- Møller, H. 1978. Multi-dimensional Audio. In *AES 59th Convention, preprint 1325 (E-5)*. Hamburg. 82
- Møller, H. 1979a. Multidimensional Audio: Part 1. *Journal of the Audio Engineering Society*, 27(5):386–393. 3, 12, 78, 81, 141
- Møller, H. 1979b. Multidimensional Audio: Part 2. *Journal of the Audio Engineering Society*, 27(6):496–502. 82
- Møller, H. 1979c. Multidimensional Audio: Part 3. *Journal of the Audio Engineering Society*, 27(7/8):562–567. 81
- Møller, H., Sørensen, M.F., Jensen, C.B. & Hammershøi, D. 1996. Binaural Technique: Do We Need Individual Recordings? *Journal of the Audio Engineering Society*, 44(6):451–469. 113
- Møller, H., Sørensen, M.F., Jensen, C.B. & Hammershøi, D. 1999. Evaluation of Artificial Heads in Listening Tests. *Journal of the Audio Engineering Society*, 47(3):83–100. 113
- Moog, R.A. 1965. Voltage-Controlled Electronic Music Modules. *Journal of the Audio Engineering Society*, 13(3):200–206. 32
- Moore, A.F. 1990. *Rock: The Primary Text. Developing a Musicology of Rock*. Buckingham: Open University Press. 4
- Moore, A.F. 1997. *Sgt. Pepper's Lonely Hearts Club Band*. Cambridge: Cambridge University Press. 10
- Moore, B.J.C. 1999. Controversies And Mysteries In Spatial Hearing. In *AES 16th International Conference*, bladsye 249–256. Rovaniemi, Finland. 27
- Moore, B.J.C. 2004. *An Introduction To The Psychology Of Hearing*. London: Elsevier Academic Press. 19

- Moorefield, V. 2006. *The Producer as Composer: Shaping the Sound of Popular Music*. Cambridge, Massachusetts, V.S.A.: MIT Press. 1, 83, 140
- Moorer, J.A. 1979. About This Reverberation Business. *Computer Music Journal*, 3(2):13–28. 95
- Moorer, J.A. 2000. Audio in the New Millenium. *Journal of the Audio Engineering Society*, 48(5):490–498. 3
- Moreland, J.B. 1977. Measurement of Sound Absorption in Rooms. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61(2):476–483. 20
- Mouchtaris, A., Narayanan, S.S. & Kyriakakis, C. 2005. Multichannel Audio Synthesis by Subband-Based Spectral Conversion and Parameter Adaptation. *Speech and Audio Processing, IEEE Transactions on*, 13(2):263–274. 116
- Moulton, D. 1986. The Creation of Musical Sounds for Playback Through Loudspeakers. In *AES 8th International Conference*, bladsye 161–169. Washington. 2, 6, 9, 91, 99
- Moulton, D., Ferralli, M., Hebrock, S. & Pezzo, M. 1986. The Localization of Phantom Images in an Omnidirectional Stereophonic Loudspeaker System. In *AES 81st Convention, preprint 2371 (B-15)*. Los Angeles. 106, 121, 123
- Moverman, P. 1974. Forum: Reply to Messrs. Wilson and Wilson: A Commentary on Audio Education. *Journal of the Audio Engineering Society*, 22(2):103. 1
- Moylan, W. 1986. Aural Analysis of the Spatial Relationships of Sound Sources as Found in Two-Channel Common Practice. In *AES 81st Convention, preprint 2370*. Los Angeles. 120
- Moylan, W. 1987. A Systematic Method for the Aural Analysis Sound Sources in Audio Reproduction/Reinforcement, Communications, And Musical Contexts. In *AES 83rd Convention, preprint 2514*. New York. 14
- Moylan, W. 2002. *The Art of Recording: Understanding and Crafting the Mix*. Oxford: Focal Press. 80
- Muckey, F.S. 1915. The Natural Method of Voice Production. *The English Journal*, 4(10):625–638. 35
- Mugrdechian, R.B. 1991. Cleaner Production: A Way to Improve Your Station's Air Sound. In *AES 91st Convention, preprint 3200 (V-4)*. New York. 107

- Müller, R. & Holstein, P. 2004. About A Digital RF-Condenser Microphone. In *AES 116th Convention, preprint 6130*. Berlyn. 44, 45, 144
- Muncy, N.A. 1995. Noise Susceptibility in Analog and Digital Signal Processing System. *Journal of the Audio Engineering Society*, 43(6):435–453. 67, 70
- Myers, R.L. 2006. *The basics of physics*. Westport, CT: Greenwood Press. 25
- Nakayama, T., Muira, T., Kosaka, O., Okamoto, M. & Shiga, T. 1971. Subjective Assessment of Multichannel Reproduction. *Journal of the Audio Engineering Society*, 43(6):744–751. 84
- Navin, T.R. 1949. World's Leading Cymbal Maker: Avedis Zildjian Company. *Bulletin of the Business Historical Society*, 23(4):196–206. 36
- Neamen, D.A. 2007. *Microelectronics: Circuit Analysis and Design*. New York: McGraw-Hill. 65
- Neubauer, R.O. 2000. Estimation of Reverberation Time in Rectangular Rooms With Non Uniformly Distributed Absorption Using A Modified Fitzroy Equation. In *7th International Congress on Sound and Vibration*. Garmisch-Partenkirchen, Duitsland. 23
- Nielsen, P. 1995. Microphone Selection and Use. In G.S.K. Wong & T.F.W. Embleton (reds.), *AIP Handbook of Condensor Microphones*, bladsye 3–7. New York: AIP Press. 57, 73
- Nielsen, S.H. 1991. Depth Perception - Finding a Design Goal for Sound Reproduction Systems. In *AES 90th Convention, preprint 3069*. Parys. 28
- Nisbett, A. 1974. *The Technique of the Sound Studio for Radio, Television, and Film. Third Edition*. London: Focal Press. 39, 87
- Norton, H.N. 2004. Transducers for Acoustic, Optical, and Electrical Quantities. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 8–41–8–47. New York: McGraw-Hill. 15
- Nousaine, T. 1990. The Great Debate: Is Anyone Winning? In *AES 8th International Conference*, bladsye 117–120. Washington. 66
- Nowacki, J.M. 1998. Antykwa Toruńska: An Electronic Replica of a Polish Traditional Type. *TUGboat*, 19(3):242–243. v
- Noxon, A.M. 1990. Sound Fusion and the Acoustic Presence Effect. In *AES 89th Conventiion. Preprint 2998*. Los Angeles. 96

- Nyquist, H. 1928. Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors. *Phys. Rev.*, 32(1):110–113. 41
- Obata, J. & Tesima, T. 1935. Experimental Studies on the Sound and Vibration of Drum. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 6(4):267–273. 126
- Obataya, E., Ono, T. & Norimoto, M. 2000. Vibrational Properties of Wood Along the Grain. *Journal of Materials Science*, 35(12):2993–3001. 31
- Offenhauser, W.H. 1958. Binaural and Stereophonic Sound. In retrospect. *Journal of the Audio Engineering Society*, 6(2):67–69. 104
- Okano, T., Beranek, L.L. & Hidaka, T. 1998. Relations Among Interaural Cross-Correlation Coefficient ($I_{acc}[Sub\ E]$), Lateral Fraction ($L_f[Sub\ E]$), and Apparent Source Width (Asw) in Concert Halls. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 104(1):255–265. 121
- Oktava, 2006. 2006. *Oktava MK 319 User Manual*. JSC OKTAVA, Kaminsky str. 24, 300000, Rusland. 157
- Olive, S.E. 1986. The Preservation of Timbre: Microphones, Loudspeakers, Sound Sources and Acoustical Spaces. In *AES 8th International Conference*, bladsye 127–149. Washington. 100
- Olive, S.E. & Toole, F.E. 1988. The Modification of Timbre by Resonances: Perception and Measurement. *Journal of the Audio Engineering Society*, 36(3):122–142. 35
- Olive, S.E. & Toole, F.E. 1989a. The Detection of Reflections in Typical Room. *Journal of the Audio Engineering Society*, 37(7/8):539–553. 21
- Olive, S.E. & Toole, F.E. 1989b. The Evaluation of Microphones - Part 1: Measurements. In *AES 87th Convention, preprint 2837*. New York. 85, 87
- Olmsted, J. & Williams, G.M. 1997. *Chemistry: the Molecular Science*. Dubuque, IA: Wm. C. Brown Publishers. 15
- Olson, H.F. 1958. Stereophonic Sound Reproduction in the Home. *Journal of the Audio Engineering Society*, 6(2):80–90. 106
- Olson, H.F. 1967. Directional Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 15(4):420–430. 54, 87
- Olson, H.F. 1970. Ribbon Velocity Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 18(3):263–268. 48

- Olson, H.F. 1976. A History of High-Quality Studio Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 24(10):798–807. 38, 42
- Olson, H.F. 1977. Microphones for Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(10/11):676–684. 40
- Olson, H.F. 1980. The Quest for Directional Microphones at RCA. *Journal of the Audio Engineering Society*, 28(11):776–786. 41, 54
- Olson, H.F. 1988. Home Entertainment: Audio 1988. *Journal of the Audio Engineering Society*, 17(4):390–404. 85
- Olson, H.F. & May, E.G. 1953. Electronic Sound Absorber. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(4):829–829. 20
- Olson, L.T. 1979. The Stereo-180 Microphone System. *Journal of the Audio Engineering Society*, 27(3):158–163. 51
- Ono, K., Sugimoto, T., Tanabe, H., Iwaki, M., Kurozumi, K., Ando, A. & Imanaga, K. 2008. Development of a Super-Wide-Range Microphone for Sound Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*, 56(5):372–380. 43, 57
- Opolko, F.J. & Woszczyk, W.R. 1982. A Combinative Microphone Technique Using Contact And Air Transducers. In *AES 116th Convention, preprint 6131*. Anaheim, CA. 100
- Orsak, G.C., Poor, H.V. & Thomas, J.B. 2004. Noise and Interference. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 1–52–1–56. New York: McGraw-Hill. 60
- Otala, M. 1970. Transient Distortion in Transistorized Audio Power Amplifiers. *Audio and Electroacoustics, IEEE Transactions on*, 18(3):234–239. 82
- Owsinski, B. 1999. *The Mixing Engineer's Handbook*. Vallejo, CA: Mix Books. 106, 123
- Owsinski, B. 2005. *The Recording Engineer's Handbook*. Boston: Thomson. 48, 120, 123, 124, 128, 133, 135, 153, 154
- Paradiso, J. 1997. Electronic Music: New Ways to Play. *Spectrum, IEEE*, 34(12):18–30. 32
- Park, J. 2003. *Practical Embedded Controllers: Design And Troubleshooting With The Motorola 68HC11*. Oxford: Newnes. 73

- Parsons, A. 2006. Mixing Tips from the Pros. *Sound on Sound Magazine*, 21(12):104–111. 80
- Parsons, M.H. 1996. *The Drummer's Studio Survival Guide: How to Get the Best Possible Drum Tracks on Any Recording Project*. Cedar Grove, NJ: Modern Drummer Publications. 121
- Pastell, M. 2010. FIR filter design with Python and SciPy. Beschikbaar by: <http://mpastell.com/2010/01/18/fir-with-scipy/> [Besoek op 2010/05/23]. 174
- Pastillé, H. 2000. Electrically Manifested Distortions of Condenser Microphones in Audio Frequency Circuits. *Journal of the Audio Engineering Society*, 48(6):559–563. 59
- Pastillé, H. & Ochmann, M. 2004. About the 10-dB Switch of a Condenser Microphone in Audio Frequency Circuits. *Journal of the Audio Engineering Society*, 50(9):695–702. 62
- Pauk, S. 2006. Use of Long-Term Average Spectrum for Automatic Speaker Recognition. Meesters thesis, Joensuu Universiteit, Finland. 79
- Paul, J.D., Clayton, M.D. & Agnello, A.M. 1991. Digital Output Transducer. Amerikaanse Patent # 5,051,799. 44
- Pejrolo, A. & DeRosa, R. 2008. *Acoustic and Midi Orchestration for the Contemporary Composer*. Oxford: Focal Press. 121
- Penner, P.S. 1979. Acoustic Specification and Design of Supreme Being Studios. *Journal of the Audio Engineering Society*, 27(5):351–367. 23
- Perrott, D.R. 1984. Concurrent Minimum Audible Angle: A Re-Examination of the Concept of Auditory Spatial Acuity. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 75(4):1201–1206. 27
- Peterson, R.A. & Berger, D.G. 1975. Cycles in Symbol Production: The Case of Popular Music. *American Sociological Review*, 40(2):158–173. 5
- Peus, S. 1997. Measurements on Studio Microphones. In *AES 103rd Convention, preprint 4617*. New York. 93
- Peus, S. 2001. Benefits of a Digitally Interfaced Studio Microphone. In *AES 111th Convention, preprint 5467*. New York. 45
- Peus, S. 2004. Modern Acoustic and Electronic Design of Studio Condenser Microphones. In *AES 116th Convention, preprint 6131*. Berlyn. 43, 44, 57, 59, 61, 65, 66, 73, 88

- Peus, S. & Kern, O. 1993. A Method of Remote-controlling the Polar Pattern of a Condenser Microphone with Standard Phantom Powering. In *AES 94th Convention, preprint 3592(E3-1)*. Berlyn. 72
- Peutz, V.M.A. 1971. Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room. *Journal of the Audio Engineering Society*, 19:915–919. 23
- Pickles, J. & Comis, S.D. 1976. Auditory-Nerve-Fiber Bandwidths and Critical Bandwidths in the Cat. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 60(5):1151–1156. 25
- Pierce, A.D. 1999. *Acoustics*. Melville, NY: Acoustical Society of America. 14, 23
- Pizzi, S. 1984. Stereo Microphone Techniques For Broadcast. In *AES 76th Convention, preprint 2146*. New York. 86, 104, 107, 109, 121
- Plunkett, R.J. 1881. Polytetrafluoroethylene Polymers. Amerikaanse Patent # 2,230,654. 46
- Porcello, T. 2004. Speaking of Sound: Language and the Professionalization of Sound-Recording Engineers. *Social Studies of Science*, 34(5):733–758. 80
- Porcello, T. 2005. Music Mediated as Live in Austin: Sound, Technology and Recording Practice. In P.D. Greene & T. Porcello (reds.), *Wired for Sound: Engineering and Technologies in Sonic Cultures*, bladsye 147–158. Middletown, CT: Wesleyan University Press. 120
- Poss, R.M. 1998. Distortion Is Truth. *Leonardo Music Journal*, 8:45–48. 33
- PR20. 2010. HEIL SOUND PR20 PR22. HEIL SOUND Ltd, 5800 North Illinois, Fairview Heights, IL 62208, V.S.A. 132
- Preis, D. 2002. Signals and Spectra. In J.C. Whitaker & K.B. Benson (reds.), *Standard Handbook of Audio and Radio Engineering. Second Edition*, bladsye 2–7–2–23. New York: McGraw-Hill. 14
- Price, C.G. 1997. Sources of American Styles in the Music of the Beatles. *American Music*, 15(2):208–232. 166
- Pulkki, V. 2002. Microphone Techniques and Directional Quality of Sound Reproduction. In *AES 112th Convention, preprint 5500*. Munich. 108, 111, 112

- Pulkki, V. 2008. Multichannel Sound Reproduction. In D. Havelock, M. Vorländer & S. Kuwano (reds.), *Handbook of Signal Processing in Acoustics, Volume 1*, bladsye 747–760. New York: Springer Science+Business Media, LLC. 109
- Putnam, M.T. 1980. A Thirty-Five Year History and Evolution of the Recording Studio. In *AES 66th Convention, preprint 1661*. Los Angeles. 22, 87
- Queen, D. 1966. From Boom Boxes to Beatles, Baez, and Boccherini - The Electric Guitar at the Crossroads. In *AES 31st Convention, preprint 450*. New York. 9
- Raichel, D.R. 2000. *The Science and Applications of Acoustics*. New York: Springer-Verlag. 14, 18
- Rankin, K. 2006. *Linux Multimedia Hacks*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media. 148
- Raphael, L.J., Borden, G.J. & Harris, K.S. 2007. *Speech Science Primer: Physiology, Acoustics, and Perception Of Speech*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins. 15
- Rasmussen, P. 1999. Acoustic Measurement. In J.G. Webster (red.), *The measurement, instrumentation, and sensors handbook*, bladsye 27–2–27–21. Danvers, MA: CRC Press. 57
- Rayleigh, J.W.S. 1894. *The Theory of Sound. Volume 1*. New York: Dover Publications, Inc. 18
- Reeves, A.H. 1942. Electric Signaling System. Amerikaanse Patent # 2,272,070. 45
- Rettinger, M. 1977. Instrument Isolation For Multiple Track Music Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(1/2):34–37. 99
- Rhodes, H.B. 1970. The Electronic Piano. In *AES 38th Convention, preprint 707*. Los Angeles. 33
- Ricketts, T.A. & Hornsby, B.W.Y. 2003. Distance and Reverberation Effects on Directional Benefit. *Ear & Hearing*, 24(6):472–483. 23
- Ridgeway, C. 2008. *Crack the Songwriting Code*. Cape Town: CLS Publishers. 6
- Rimell, A. & Hawksford, M.O. 1996. From the Cone to the Cochlea: Modelling the Complete Acoustical Path. In *AES 100th Convention, preprint 4240*. Copenhagen. 19

- Roads, C. 1996a. Early Electronic Music Instruments: Time Line 1899-1950. *Computer Music Journal*, 20(3):20-23. 33
- Roads, C. 1996b. *The Computer Music Tutorial*. Cambridge, Massachusetts, V.S.A.: MIT Press. 79
- Robbins, J. 2007. John Agnello. In L. Crane (red.), *Tape Op: The Book about Creative Music Recording. Volume 2*, bladsye 78-81. Sacramento, CA: Tape Op Publishing. 128
- Robjohns, H. 2002. Buzz Audio MA 2.2 Microphone Preamplifier. *Sound On Sound Magazine*, 21(5):X-X. 145
- Rosen, S. 1981. The Economics of Superstars. *The American Economic Review*, 71(5):845-858. 10
- Rossing, T., Bork, I., Zhao, H. & Fystrom, D.O. 1992. Acoustics of Snare Drums. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 92(1):84-94. 36
- Rossing, T.D. 2000. *Science of Percussion Instruments*. Singapore: World Scientific. 36
- Rossing, T.D. 2001. Acoustics of Percussion Instruments: Recent Progress. *Acoust. Sci. & Tech.*, 22(3):177-188. 36
- Rossing, T.D. & Eban, G. 1999. Normal Modes of a Radially Braced Guitar Determined by Electronic Tv Holography. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(5):2991-2996. 31
- Rossing, T.D. & Fletcher, N.H. 2004. *Principles of Vibration and Sound. Second Edition*. New York: Springer-Verlag. 50, 64
- Rossing, T.D., Yoo, J. & Morrison, A. 2004. Normal Modes of a Radially Braced Guitar Determined by Electronic Tv Holography. *Acoust. Sci. & Tech.*, 25(6):406-412. 87
- Rossmann, S. 2003. Britney Spears Tree Lewendig Op Tydens die NFL Kickoff Live from The National Mall Presented by Pepsi Vanilla-Konsert op 4 September 2003. Foto. 164
- Royer, D.E. & Perrotta, R.T. 2002. Ribbon Microphone. Amerikaanse Patent # 6,434,252. 51
- Rudolph, T.E. & Leonard, V.A. 2001. *Recording in the Digital World: Complete Guide to Studio Gear and Software*. Boston, MA: Berklee Press. 132, 140

- Rumsey, F. 1991. Digital Audio Interfacing - A Brief Overview. In *AES 10th International Conference*. London. 146
- Rumsey, F. 2001. *Spatial Audio*. Oxford: Focal Press. 3, 83
- Rumsey, F. 2002. Spatial Quality Evaluation for Reproduced Sound: Terminology, Meaning, and a Scene-Based Paradigm. *Journal of the Audio Engineering Society*, 50(9):651–666. 28, 84, 121
- Rumsey, F. & McCormick, T. 2009. *Sound and Recording. Sixth Edition*. Oxford: Focal Press. 71, 72, 73, 88, 93, 106
- Rumsey, F., Zieliński, S., Kassier, R. & Bech, S. 2005a. On the Relative Importance of Spatial and Timbral Fidelities in Judgments of Degraded Multichannel Audio Quality. *Journal of the Acoustical Society of America*, 118(2):968–976. 12
- Rumsey, F., Zieliński, S., Kassier, R. & Bech, S. 2005b. Relationships Between Experienced Listener Ratings of Multichannel Audio Quality and Naïve Listener Preferences. *Journal of the Acoustical Society of America*, 117(6):3832–3840. 13
- Russ, M. 1996. *Sound Synthesis and Sampling*. Burlington, MA: Focal Press. 62
- Rutt, T.E. 1984. Vacuum Tube Triode Nonlinearity as Part of the Electric Guitar Sound. In *AES 76th Convention, preprint 2141*. New York. 64
- Rutten, P. 1993. Popular Music Policy: A Contested Area - The Dutch Experience. In T. Bennet, S. Frith, L. Grossberg, J. Shephard & G. Turner (reds.), *Rock and Popular Music*, bladsye 37–51. London: Routledge. 5
- Ryan, K. & Kehew, B. 2006. *Recording the Beatles: The Studio Equipment and Techniques Used to Create Their Classic Albums*. Houston, TX: Curvebender. 105
- Sabine, W.C. 1922. *Collected Papers on Acoustics*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 22
- Samson, P.R. 1980. A General-Purpose Digital Synthesizer. *Journal of the Audio Engineering Society*, 28(3):106–113. 32
- Sandberg, M. 1998. Baby, One More Time. Amerikaanse Kopiereg Kantoor Registrasie # PA0000922764 / 1998-10-29. 163
- Sank, J.R. 1985. Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(7/8):514–547. 38, 41, 43, 46, 47, 50

- Sank, J.R., Streicher, R.D. & Dooley, W.L. 2002. Stereophonic Techniques. In J.C. Whitaker & K.B. Benson (reds.), *Standard Handbook of Audio and Radio Engineering. Second Edition*, bladsye 4–37–4–45. New York: McGraw-Hill. 107, 111, 112
- Sarroff, A. & Bello, J.P. 2008. Measurements of Spaciousness for Stereophonic Music. In *AES 125th Convention, preprint 7539*. San Francisco. 105
- Saunders, J.C., Rintelmann, W.F. & Bock, G.R. 1979. Frequency Selectivity in Bird And Man: A Comparison Among Critical Ratios, Critical Bands and Psychophysical Tuning Curves. *Hearing Research*, 1(4):303–323. 25
- SBAS399A. 2007. *High-Performance, Two-Channel, 24-Bit, 216kHz Sampling Multi-Bit Delta-Sigma Analog-to-Digital Converter*. TEXAS INSTRUMENTS, Posbus 655303, Dallas, Texas 75265, V.S.A. 145
- SBAU124. 2006. *PCM4222EVM User's Guide*. TEXAS INSTRUMENTS, Posbus 655303, Dallas, Texas 75265, V.S.A. 145
- Schellstede, M. & Faller, C. 2007. Recording of Acoustical Concerts Using a Soundfield Microphone. In *AES 112th Convention, preprint 6996*. Wenen. 99, 107, 108
- Schneider, M. 1998a. Pop Measurement, Low-Frequency Response and Microphone Construction. In *AES 104th Convention, preprint 4675*. Amsterdam. 62
- Schneider, M. 1998b. Transients in Microphones: Pop and Impulse. In *AES UK 13th Conference: Microphones & Loudspeakers*. London. 59, 63, 75
- Schneider, M. 2000. On Developing a Vocalist Condenser Microphone. In *AES 108th Convention, preprint 5078*. Parys. 60, 62, 73, 75
- Schneider, M. 2001. Omnis and Spheres - Revisited. In *AES 110th Convention, preprint 5338*. Amsterdam. 114
- Schneider, M. 2005. Electromagnetic Interference, Microphones and Cables. In *AES 110th Convention, preprint 6339*. Barcelona. 69, 70, 72, 73, 157
- Schneider, M. 2006. The effect of the singer's head on vocalist microphones. In *AES 120th Convention, preprint 6634*. Parys. 21
- Schneider, M. 2007. Digital Microphones for High Resolution Audio. In *AES 131st International Conference, preprint 5078*. London. 45

- Schroeder, M. 1975. Models of Hearing. *Proceedings of the IEEE*, 63(9):1332–1350. 17
- Schroeder, M.R. 1961. Improved Quasi-Stereophony and “Colorless” Artificial Reverberation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33(8):1061–1064. 24
- Schroeder, M.R. 1962. Natural Sounding Artificial Reverberation. *Journal of the Audio Engineering Society*, 10(3):219–223. 24
- Schroeder, M.R. 1970. Digital Simulation of Sound Transmission in Reverberant Spaces. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 47(2A):424–431. 24
- Schroeder, M.R. & Logan, B.F. 1961. “Colorless” Artificial Reverberation. *Journal of the Audio Engineering Society*, 9(3):192–197. 24
- Schuijers, E., Breebaart, J., Purnhagen, H. & Engdegard, J. 2004. Low Complexity Parametric Stereo Coding. In *AES 116th Convention, pre-print 2638*. Berlyn. 107
- Scott, C.F. 1953. Attenuator Types and Their Application. *Journal of the Audio Engineering Society*, 1(1):95–98. 72
- Seeler, C.E. 1966. Microphone. Amerikaanse Patent # 3,240,883. 154
- Seren, E. 2005. Frequency Spectra of Normal Expiratory Nasal Sound. *American Journal of Rhinology*, 19(3):257–261. 163
- Serway, R.A. & Jewett, J.W. 1999. *Physics for Scientists and Engineers. Fifth Edition*. Florence, KY: Brooks/Cole Publishing Company. 19
- Sessler, G.M. & West, J.E. 1962. Letters to the Editor: Self-Biased Condenser Microphone with High Capacitance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 34(11):1787–1788. 46
- Sethares, W.A. 2005. *Tuning, Timbre, Spectrum, Scale. Second Edition*. London: Springer-Verlag. 12
- Seymour, H. 1918. *The Reproduction of Sound. Being a Description of the Mechanical Appliances and Technical Processes Employed in the Art*. London: W.B. Tattersall. 140
- Shankland, R.S. 1997. Architectural Acoustics in America to 1930. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61(2):250–254. 22
- Shaw, E.A.G. 1974. Transformation of Sound Pressure Level from the Free Field to the Eardrum in the Horizontal Plane. *Journal of the Acoustical Society of America*, 56(6):1848–1861. 26

- Shephard, R. 2001. Cognitive Psychology and Music. In P.R. Cook (red.), *Music, Cognition and Computerized Sound*, bladsye 21–35. Cambridge, Massachusetts, V.S.A.: MIT Press. 51
- Shinn-Cunningham, B.G. 2000. Distance Cues for Virtual Auditory Space. In *1st IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia*. Sydney. 27
- Shorter, D.E.L. 1959. A Survey Of Performance Criteria And Design Considerations For High-Quality Monitoring Loudspeakers. *Journal of the Audio Engineering Society*, 7(1):13–54. 3
- Shorter, D.E.L. 1995. *The Design of a Ribbon Type Pressure-gradient Microphone for Broadcast Transmission*. London: British Broadcasting Corporation. 48
- Shuker, R. 1998. *Popular Music: The Key Concepts*. London: Routledge. 4
- Sivian, L.J. & White, S.D. 1933. On Minimum Audible Sound Fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 4(4):288–321. 26
- Slone, J.J. 2002. *The Basics of Live Sound: Tips, Techniques & Lucky Guesses*. Milwaukee, WI: Hal Leonard. 132, 135
- Smith, A.D. & Wittman, P.H. 1969. Design Considerations of Low Noise Audio Input Circuitry for a Professional Microphone Mixer. In *AES 36th Convention, preprint 644(A-1)*. New York. 62
- Smith, A.P. 1971. Microphone Techniques For Improved Pickup Of Stage Performances. In *AES 41st Convention, preprint 830*. New York. 57
- Smith, J.O. 1996. Physical Modeling Synthesis Update. *Computer Music Journal*, 20(2):44–56. 32
- Smith, J.O. 2007. *Mathematics of the Discrete Fourier Transform: With Audio Applications. Second Edition*. Charleston, SC: Booksurge Publishing. 15
- Smith, S.W. 1997. *The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego, CA: California Technical Publishing. 63, 174
- Snow, W. 1955. Basic Principles of Stereophonic Sound. *Audio, IRE Transactions on*, 3(2):42–53. 113
- Snyder, R.H. 1953. History and Development of Stereophonic Sound Recording. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1(2):176–179. 3

- Somers, E.J. 1994. Using Intereference Tube Microphones in the Reel World. Preprint 3824. In *AES 96th Convention*. Amsterdam. 47
- Sowter, G.A.V. 1987. Soft Magnetic Materials for Audio Transformers: History, Production, and Applications. *Journal of the Acoustical Society of America*, 35(10):760–777. 66
- Spencer, A. 2003. Snare Drum. In J. Shepherd (red.), *Continuum Encyclopedia of Popular Music of the World. Volume II: Performance and Production*, bladsye 398–399. London: Continuum. 36
- SRS7UG. 2005. *Series Seven User's Guide*. JOSEPHSON ENGINEERING, Inc, Ingalls Straat 329A, Santa Cruz, Kalifornië. 95060. 45
- St. James, A. 2004. *101 Recording Tips: Stuff All the Pros Know and Use*. Milwaukee: Hal Leonard. 91
- Staffeld, H. 1984. Measurement and Prediction of the Timbre of Sound Reproduction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 32(6):410–414. 17
- Staple, B.W., Schladt, G.A. & Holmes, M.E. 1994. Wind Noise and Vibration Noise Reducing Microphone. Amerikaanse Patent # 5,288,955. 75
- Steiglitz, K. 2006. *Digital Signal Processing Primer: With Applications to Digital Audio and Computer Music. Third Edition*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley. 16
- Stent, S. 2006. Mixing Tips from the Pros. *Sound on Sound Magazine*, 21(12):104–111. 80
- Stewart, G.W. 1920. The Function of Intensity and Phase in the Binaural Location of Pure Tones. II. *Phys. Rev.*, 15(5):432–445. 26
- Stodolsky, D. 1970. The Standardization of Monaural Phase. *Audio and Electroacoustics, IEEE Transactions on*, 18(3):288–299. 16
- Strain, J.A. 2003. Drum Kit. In J. Shepherd (red.), *Continuum Encyclopedia of Popular Music of the World. Volume II: Performance and Production*, bladsye 358–360. London: Continuum. 120
- Strashun, L. 1986. Training of Tonmeisters and Audio Engineers. Preprint 2362 (N3). In *AES 80th International Convention*. Montreaux, Switzerland. 1
- Stravinsky, I.F. 1962. *Igor Stravinsky. An Autobiography*. New York: W. W. Norton & Co. 7

- Straw, W. 1991. Systems of Articulation, Logics of Change: Communities and Scenes in Popular Music. *Cultural Studies*, 5(3):368–388. 11
- Streicher, R. 1990. Recording and Reproducing the Sound of Audio: The Preservation of Timbre. In *AES 8th International Conference*, bladsye 125–150. Washington. 18
- Streicher, R. & Dooley, W. 1985. Basic Stereo Microphone Perspectives - A Review. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(7/8):548–556. 104, 111, 112, 113
- Streicher, R. & Dooley, W. 2003. The Bidirectional Microphone: A Forgotten Patriarch. *Journal of the Audio Engineering Society*, 51(4):211–225. 50, 51, 54
- Streng, J.H. 1989. Sound Radiation from Circular Stretched Membranes in Free Space. *Journal of the Audio Engineering Society*, 37(3):107–118. 36
- Strobl, E.A. & Tucker, C. 2000. The Dynamics of Chart Success in the U.K. Pre-Recorded Popular Music Industry. *Journal of Cultural Economics*, 24(2):113–134. 9
- Stuart, J.R. 1991. Estimating the significance of errors in audio systems. In *AES 91st Convention, preprint 3208 (W-2)*. New York. 156
- Sullivan, C.R. 1990. Extending the Karplus-Strong Algorithm to Synthesize Electric Guitar Timbres with Distortion and Feedback. *Computer Music Journal*, 14(3):26–37. 35
- Sundberg, J. 2001. Level and Center Frequency of the Singer's Formant. *Journal of Voice*, 15(2):176 – 186. 36
- Suzuki, H. & Nakamura, I. 1990. Acoustics of Pianos. *Applied Acoustics*, 30(2-3):147 – 205. 32
- Swanson, A.G. 1992. Standard Stereo Recording Techniques in Non-Standard Situations, Preprint 3133. In *AES 92nd Convention*. Wenen. 121
- Swedien, B. 1999. Bruce Swedien. In G.S.K. Wong & T.F.W. Embleton (reds.), *Inside Tracks. A first-hand history of popular music from the world's greatest record producers and engineers*, bladsye 273–277. New York: Avon Books. 79
- Symes, C. 2004. *Setting the Record Straight: A Material History of Classical Recording*. Middletown, CT: Wesleyan University Press. 9

- Tagg, P. 2000. Analysing Popular Music: Theory, Method, and Practice. In R. Middleton (red.), *Reading Pop: Approaches to Textual Analysis in Popular Music*, bladsye 71–103. Oxford: Oxford University Press. 4, 5
- Talbot-Smith, M. 2004. Sound Origination Equipment. In E.P.J. Tozer (red.), *Audio Engineer's Reference Book*, bladsye 395–406. Oxford: Focal Press. 54, 133
- Talbot-Smith, M. & Woolf, C. 1999. Microphones. In M. Talbot-Smith (red.), *Audio Engineer's Reference Book*, bladsye 2.37–2.51. Oxford: Focal Press. 50, 51
- Tan, C.W. & Miao, J. 2009. Design Optimization of Condenser Microphone: A Design of Experiment Perspective. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125(6):3641–3649. 43, 60
- Tarnow, V. 1987. The Lower Limit of Detectable Sound Pressures. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82(1):379–381. 60
- Tashev, I.J. 2009. *Sound Capture and Processing: Practical Approaches*. Chicester: John Wiley & Sons. 51
- Taylor, C.C. 1979. Practical and Aesthetic Microphone Techniques for Recording or Broadcasting Symphonic Music. *Journal of the Audio Engineering Society*, 27(9):677–679. 77, 112
- Taylor, T.D. 2002. Music and the Rise of Radio in 1920s America: Technological Imperialism, Socialization, And The Transformation Of Intimacy. *Historical Journal of Film, Radio & Television*, 22(4):425–443. 36
- Teagle, J. & Sprung, J. 1995. *Fender Amps: The First Fifty Years*. Milwaukee, WI: Hal Leonard. 35
- Temme, S. 1992. Why and How to Measure Distortion in Electroacoustic Transducers. In *AES 11th International Conference*, bladsye 233–247. Munich. 59, 60, 64
- Terhardt, E. 1979. Calculating virtual pitch. *Hearing Research*, 1(2):155 – 182. 15
- Ternström, S. 1989. Practical and Aesthetic Microphone Techniques for Recording or Broadcasting Symphonic Music. *STL-QPSR. Speech, Music and Hearing. Quarterly Progress and Status Report*, 30(3):15–31. 20
- NEUMANN, 2002. 2002. *Neumann KU-100 Operating Instructions*. Georg Neumann GmbH, Ollenhauerstr. 98, 13403, Berlyn. 113

- YAMAHA, 2009. 2009. *YAMAHA Subkick Dynamic Microphone*. YAMAHA CORPORATION, 10-1, Nakazawa-cho, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka 430-8650, Japan. 57, 128
- Theberge, P. 2001. Plugged in: Technology and Popular Music. In S. Frith, W. Straw & J. Street (reds.), *The Cambridge Companion to Pop and Rock*, bladsye 3–25. Cambridge: Cambridge University Press. 1, 12
- Theberge, P. 2004. The Network Studio: Historical and Technological Paths to a New Ideal in Music Making. *Social Studies of Science*, 34(5):759–781. 10
- Theile, G. 1991. On the Naturalness of Two-Channel Stereo Sound. In *AES 9th International Conference*, bladsye 143–149. Detroit. 83, 105, 116
- Theile, G. 2000. Multichannel Natural Recording Based on Psychoacoustic Principles. In *AES 108th Convention, preprint 5156(R-3)*. Parys. 28, 29, 135
- Theile, G. 2001. Natural 5.1 Music Recording Based on Psychoacoustic Principles. In *AES 19th International Conference*. Schloss Elmau, Duitsland. 78, 115, 117
- Theile, G. & Spikofski, G. 1984. Vergleich Zweier Kunstkopfsysteme Unter Berücksichtigung Verschiedener Anwendungsbereiche. In *Fortschritte der Akustik - DAGA*, bladsye 223–226. Darmstadt. 113
- Thienhaus, E. 1960. Letters to the Editor: The Question of an Audio Engineering Degree. *Journal of the Audio Engineering Society*, 8(1):68–69. 1
- Thomas, M.V. 1977. Improving the Stereo Headphone Sound Image. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(7/8):474–478. 106
- Thompson, D.M. 1998. *Understanding Audio: Getting The Most Out Of Your Project Or Professional Recording Studio*. Boston, MA: Berklee Press. 34
- Thompson, E. 1997. Dead Rooms and Live Wires: Harvard, Hollywood, and the Deconstruction of Architectural Acoustics, 1900-1930. *Isis*, 88(4):597–626. 22, 23
- Tingen, P. 2008. Secrets Of The Mix Engineers: Jacquire King. Kings Of Leon: Sex On Fire. *Sound On Sound Magazine*, X(X):X–X. 154
- Tinkham, R. 1953. Stereophonic Recording Equipment. *Audio, Transactions of the IRE Professional Group on*, 1(6):13–15. 113

- Toole, F.E. 1985. Subjective Measurements of Loudspeaker Sound Quality and Listener Performance. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33(1/2):2–31. 81
- Toole, F.E., Shaw, E.A.G., Daigle, G.A. & Stinson, M.R. 2002. Sound Propagation. In J.C. Whitaker & K.B. Benson (reds.), *Standard Handbook of Audio and Radio Engineering. Second Edition*, bladsye 3–23–3–34. New York: McGraw-Hill. 16, 19, 21
- Torick, E.L. 1977. The Musician and the Record. *Journal of the Audio Engineering Society*, 25(10/11):880–884. 7
- Torio, G. 1998. Understanding the Transfer Functions of Directional Condenser Microphones in Response to Different Sound Sources. In *AES 105th Convention, preprint 4800*. San Francisco. 19, 56
- Torio, G. & Segota, J. 2000. Unique Directional Properties of Dual-Diaphragm Microphones. In *AES 109th Convention, preprint 5179*. Los Angeles. 56
- Trenchard, W.C. 2003. *A Concise Dictionary of New Testament Greek*. Cambridge: Cambridge University Press. 104
- Truesdell, C. 2007. *Mastering Digital Audio Production: The Professional Music Workflow with Mac OS X*. Indianapolis, IN: Wiley Publishing. 148
- Twiggs, C. 1853. *Pop Goes the Weasel*. New York: Stephen T. Gordon. xiv, 160
- Tyler, J. 1975. The Renaissance Guitar 1500-1650. *Early Music*, 3(4):341–347. 30
- Tzanetakis, G. & Cook, P. 2002. Musical Genre Classification of Audio Signals. *IEEE Transactions On Speech And Audio Processing*, 10(5):293–302. 6
- Ulano, S. 1975. Swinging the Jazz Band: Initial Steps for the Drummer. *Music Educators Journal*, 62(3):84–88. 36
- Umapathy, K., Krishnan, S. & Jimaa, S. 2005. Audio Signal Classification Using Time-frequency Parameters. *IEEE Transactions on Multimedia*, 7(2):308–315. 79, 161
- Usher, T. 1956. The Spanish Guitar in the Nineteenth and Twentieth Centuries. *The Galpin Society Journal*, 9:5–36. 30

- Van der Veen, M. 2005. Universal System and Output Transformer for Valve Amplifiers. In *AES 118th Convention, preprint 6347*. Barcelona. 64
- Vanderkooy, J. & Lipshitz, S.P. 1981. Polarity And Phase Standards For Analog Tape Recorders. In *AES 69th Convention, preprint 1795 (D-4)*. Los Angeles. 17
- Vanderlyn, P.B. 1978. In Search Of Blumlein: The Inventor Incognito. *Journal of the Audio Engineering Society*, 26(9):660–670. 108
- Vermeulen, R. 1956. Stereo Reverberation. *Audio, IRE Transactions on*, 4(4):98–105. 21
- Viemeister, N.F. 1990. An Overview of Psychoacoustics and Auditory Perception. In *AES 8th International Conference*, bladsye 13–19. Washington. 24
- Voelker, E. & Teuber, W. 2000. Noise levels of microphones for high quality recordings - are our studios good enough? In *AES 109th Convention, preprint 5236*. Los Angeles. 61
- Völker, E. & Moerkhe, F. 1975. Pop and Dance Music Studios in German Broadcasting Corporations. In *AES 50th Convention, preprint L-34*. London. 12
- Von Braunmühl, H.J. & Weber, W. 1839. Condensor Microphone. Amerikaanse Patent # 2,179,361. 54
- Von Helmholtz, H. 1885. *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music*. London: Longman. 14, 17
- Waksman, S. 2004. California Noise: Tinkering with Hardcore and Heavy Metal in Southern California. *Social Studies of Science*, 34(5):675–702. 33
- Wallach, H., Newman, E.B. & Rosenzweig, M.R. 1973. The Precedence Effect in Sound Localization. *Journal of the Audio Engineering Society*, 21(10):817–826. 27
- Wallis, C. 1936. The Future of Romanticism. *Gramophone*, 15(3):41. 77
- Warner, T. 2003. *Pop Music: Technology and Creativity : Trevor Horn and the Digital Revolution*. Hants, Engeland: Ashgate Publishing. 6, 7
- Waterhouse, R.V. 1955. Interference Patterns in Reverberant Sound Fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 27(2):247–258. 19

- Watkinson, J. 1998. *The Art of Sound Reproduction*. Oxford: Focal Press. 60, 69
- Watkinson, J. 2001. *Convergence in Broadcast and Communications Media: The Fundamentals of Audio*. Oxford: Focal Press. 109
- Watkinson, J. 2002. *An Introduction to Digital Audio. Second Edition*. Oxford: Focal Press. 146
- Watts, L.M. 2010. RE: Diaphragm motion of ribbon microphone. Per-
soonlike e-pos kommunikasie, 2010/05/19. 51
- Wegel, R.L. 1932. Wave Transmission Device. Amerikaanse Patent #
1,852,795. 23
- Weinreich, G. 1977. Coupled Piano Strings. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 62(6):1474–1484. 32
- Weiss, E. 1993. Audio Technology in Berlin to 1943: Microphones. In
AES 94th Convention, preprint 3482. Berlyn. 42, 48
- Weiss, P. 2007. Mixing Tips & Tricks. In L. Crane (red.), *Tape Op: The Book about Creative Music Recording. Volume 2*, bladsy 47. Sacramento, CA: Tape Op Publishing. 140
- Welch, W.L. 1977. Edison and His Contributions to the Record Industry. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25(10/11):660–665. 64
- Wente, E.C. 1917. A Condensor Transmitter as a Uniformly Sensitive Instrument for the Absolute Measurement of Sound Intensity. *Physical Review*, 10(1):39–63. 41
- Wente, E.C. 1929. Acoustic Device. Amerikaanse Patent # 1,707,545. 47
- Wente, E.C. & Thuras, A.L. 1931. Moving Coil Telephone Receivers and Microphones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 3:44–55. 47, 48
- Werner, E.E. 2002. Selected highlights of microphone history. In *AES 112th Convention, preprint 5607*. Munich. 42
- Werner, R.E. 1955. On Electrical Loading of Microphones. *Journal of the Audio Engineering Society*, 3(4):194–197. 72
- Wessel, D.L. 1979. Timbre Space as a Musical Control Structure. *Computer Music Journal*, 3(2):45–52. 17
- Whitaker, J. 2002. *Master Handbook of Video Production*. Milwaukee: Hal Leonard. 23

- White, G.D. & Louie, G.J. 2005. *The Audio Dictionary*. Seattle, WA: University of Washington Press. 87
- White, P. 1999. *The Sound on Sound Book of Creative Recording II*. London: Sanctuary Publishing. 38, 44, 50, 51, 60, 64, 72, 73, 144
- White, P. 2006a. Mics for All Reasons: A Guide to Choosing & Using Studio Microphones. *Sound On Sound Magazine*, 21(9):70–79. 42
- White, P. 2006b. Mixing Essentials. The Fundamentals of Mixing. *Sound On Sound Magazine*, 21(12):104–111. 12, 18
- White, P. 2007. Microphones for Recording. *Sound On Sound Magazine*, 22(5):74–80. 55
- Whiteley, S. 2000. Progressive Rock and Psychedelic Coding. In R. Middleton (red.), *Reading Pop. Approaches to Textual Analysis in Popular Music*, bladsye 235–261. Oxford: Oxford University Press. 18
- Whitlock, B. 1995. Balanced Lines in Audio Systems: Fact, Fiction, and Transformers. *Journal of the Audio Engineering Society*, 43(6):454–464. 66, 69
- Whitlock, B. 2002. Audio Transformer Basics. In G. Ballou (red.), *Handbook for Sound Engineers. Third Edition*, bladsye 231–266. Oxford: Focal Press. 66
- Whitlock, P. 1936. The Organ of the Future? *The Musical Times*, 77(1125):1017–1018. 33
- Wiedmann, O.E. 1970. Transmission Lines in Studios. *Journal of the Audio Engineering Society*, 18(2):174–182. 70
- Wightman, F.L. & Kistler, D.J. 1990. Hearing In Three Dimensions: Sound Localization. In *AES 8th International Conference*, bladsye 21–26. Washington. 26
- Willett, J. 1998. The Symmetrical Microphone Capsule and The Quest for the Perfect Acoustic Window. In *AES UK 13th Conference: Microphones Loudspeakers*. London. 39, 45
- Williams, A.B. & Taylor, F.J. 2004. Attenuators. In D. Christiansen & C.K. Alexander (reds.), *Standard Handbook of Electronic Engineering, 5th Edition*, bladsye 10–74–10–75. New York: McGraw-Hill. 62
- Williams, M. 1984. The Stereophonic “Zoom”. A Practical Approach to Determining the Characteristics of a Pair of Directional Microphones. In *AES 75th Convention, preprint 2466*. Parys. 124

- Williams, M. 1987. Unified Theory of Microphone Systems for Stereophonic Sound Recording. In *AES 82nd Convention, preprint 2072*. London. 107, 117
- Williams, M. 1991. Early Reflections And Reverberant Field Distribution In Dual Microphone Stereophonic Sound Recording Systems. In *AES 91st Convention, preprint 3155*. New York. 117
- Williams, M. & Le Du, G. 1999. Microphone Array Analysis for Multichannel Sound Recording. In *AES 107st Convention, preprint 4997 (A-5)*. New York. 115
- Williams, M. & Le Du, G. 2000. Multichannel Microphone Array Design. In *AES 108th Convention, preprint 5157(R-4)*. Parys. 115
- Williams, P. 2006. Mixing Tips from the Pros. *Sound on Sound Magazine*, 21(12):104–111. 79
- Wilson, S. 2007. Shane Wilson's Guide to Mixing. Video Tutorial. 131
- Wintle, H.J. 1973. Introduction to Electrets. *Journal of the Acoustical Society of America*, 53(6):1578–1588. 46
- Wittek, H. & Theile, G. 2002. The recording angle - based on localisation curves. In *AES 112th Convention, preprint 5568*. Munich. 118
- Wöhr, M., Theile, G., Goeres, H. & Persterrer, A. 1991. Practical and Aesthetic Microphone Techniques for Recording or Broadcasting Symphonic Music. *Journal of the Audio Engineering Society*, 39(9):623–631. 80, 113, 116
- Woram, J.M. 1982. *The Recording Studio Handbook*. New York: ELAR Publishing Co. 49, 54, 100
- Worden, M. 1991. Bocelli's Rules for a Classical Career. *Billboard Magazine*, 116(45):16–24. 140
- Woszczyk, W.V.R. 1979. Multimicrophone Pickup of Solitary Acoustical Instruments for Single-Channel Transmission. In *AES 63rd Convention, preprint 1491*. Los Angeles. 88, 89, 95, 96, 99, 126, 128
- Woszczyk, W.V.R. 1984. A Microphone Technique Applying the Principle of Second-Order-Gradient Unidirectionality. *Journal of the Audio Engineering Society*, 32(7/8):507–530. 87, 88
- Woszczyk, W.V.R. 1989. Diffraction Effects In High Quality Studio Microphones. In *AES 9th International Conference*. Hamburg. 88

- Woszczyk, W.V.R. 1991. A Review of Microphone Techniques Optimized for Spatial Control of Sound in Television. In *AES 9th International Conference*, bladsye 133–142. Detroit. 86, 110, 111, 114, 145
- Woszczyk, W.V.R. 1992. Microphone Arrays Optimized for Music Recording. *Journal of the Audio Engineering Society*, 40(11):926–933. 114
- Woszczyk, W.V.R. 2003. Physical and perceptual considerations for high-resolution audio. In *AES 115th Convention, preprint 5931*. New York. 58, 59, 60, 83, 84, 131, 156
- Wright, J.R. 1995. An Exact Model of Acoustic Radiation in Enclosed Spaces. *Journal of the Audio Engineering Society*, 43(10):813–820. 19
- Wuttke, J. 1985. Conventional and New Viewpoints on Electrostatic Pressure Transducers. In *AES 79th Convention, preprint 2305*. New York. 70, 87, 93
- Wuttke, J. 1999. The Microphone: Between Physics and Emotion. In *AES 107st Convention, preprint 5058*. New York. 38, 71, 72, 73, 81, 88, 89, 107
- Wuttke, J. 2001. General Considerations on Audio Multi-Channel Recording. In *AES 19th International Conference: Surround Sound - Techniques, Technology, and Perception, preprint 1892*. Schloss Elmau, Duitsland. 113, 115, 116
- Wuttke, J. 2009. The Analog Microphone Interface and its History. In *AES 126th Convention, preprint 7773*. Munich. 67, 70, 71
- Yasuno, Y. & Riko, Y. 1999. A basic Concept of Direct Converting Digital Microphone. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106(6):3335–3339. 44
- Yeh, D.T., Abel, J.S. & Smith, J.O. 2007. Simplified, Physically-Informed Models Of Distortion And Overdrive Guitar Effects Pedals. In *Proc. of the 10th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-07)*. Bordeaux. 35
- Yeh, D.T. & Smith, J.O. 2006. Discretization Of The '59 Fender Bassman Tone Stack. In *Proc. of the 9th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-06)*. Montreal. 35
- Yoder, A. 2000. *Auto Audio: Choosing, Installing, and Maintaining Car Stereo Systems*. New York: McGraw Hill. 96
- Yoshikawa, S. 2007. Acoustical Classification of Woods for String Instruments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(1):568–573. 31

- Yost, W.A. & Shofner, W.P. 2009. Critical Bands and Critical Ratios in Animal Psychoacoustics: An Example Using Chinchilla Data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(1):315–323. 25
- Young, R.W. 1959. Sabine Reverberation Equation and Sound Power Calculations. *Journal of the Acoustical Society of America*, 31(7):912–921. 22
- Zacharov, N. & Koivuniemi, K. 2001a. Unravelling the Perception of Spatial Sound Reproduction: Analysis and External Preference Mapping. In *AES 111th Convention*, preprint 5423. New York. 13
- Zacharov, N. & Koivuniemi, K. 2001b. Unravelling the Perception of Spatial Sound Reproduction: Techniques and Experimental Design. In *AES 19th International Conference*. Schloss Elmau, Duitsland. 29
- Zahorik, P. & Wightman, F.L. 2001. Loudness Constancy with Varying Sound Source Distance. *Nature Neuroscience*, 4(1):78–83. 27
- Zaim, M., Kikutani, T. & Green, J. 2008. Phantom Powering the Modern Condenser Microphone: A Practical Look at Conditions for Optimized Performance. In *AES 125th Convention*, preprint 7594. San Francisco. 71
- Zangger Borch, D. & Sundberg, J. 2002. Spectral Distribution of Solo Voice and Accompaniment in Pop Music. *TMH-QPSR*, 43(1):31–35. 36
- Zatorre, R.J. 1988. Pitch Perception of Complex Tones and Human Temporal-Lobe Function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(2):566–572. 15
- Zaza, T. 1991. *Audio Design: Sound Recording Techniques for Film and Video*. Eaglewood Cliffs, N.J., V.S.A.: Prentice-Hall. 81
- Zielinski, S.K., Rumsey, F. & Kassier, R. 2005. Comparison of Quality Degradation Effects Caused by Limitation of Bandwidth and by Down-mix Algorithms in Consumer Multichannel Audio Delivery Systems. *Journal of the Audio Engineering Society*, 53(3):174–192. 13
- Zucherwar, A.J. 1941. Theoretical Response of Condenser Microphones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64(5):1278–1285. 58
- Zucherwar, A.J., Kuhn, T.R. & Serbyn, R.M. 2003. Background Noise in Piezoresistive, Electret Condenser, and Ceramic Microphones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 113(6):3179–3187. 60
- Zucherwar, A.J. & Ngo, K.C.T. 1994. Measured $1/f$ Noise in the Membrane Motion of Condenser Microphones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(3):1419–1425. 60